



# Wyścig po wodór

## Państwa i ich strategie wodorowe

Cytowanie: Pilszyk, M., Juszcak, A., Gonera, Ł. (2023), *Wyścig po wodór. Państwa i ich strategie wodorowe*, Policy Paper, nr 5, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

Warszawa, grudzień 2023 r.

Autorzy: Marcelina Pilszyk, Adam Juszcak, Łukasz Gonera

Redakcja merytoryczna: Piotr Arak, Paweł Śliwowski, Magdalena Maj

Redakcja: Jakub Nowak, Małgorzata Wieteska

Projekt graficzny: Anna Olczak

Skład i łamanie: Tomasz Gałązka

Polski Instytut Ekonomiczny

Al. Jerozolimskie 87

02-001 Warszawa

© Copyright by Polski Instytut Ekonomiczny

ISBN 978-83-67575-58-4

# Spis treści

Kluczowe liczby . . . . .	4
Kluczowe wnioski . . . . .	5
Wprowadzenie . . . . .	7
Perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej do 2050 r. . . . .	8
Analiza rozwoju polskiego sektora wodorowego .	12
Strategie wodorowe na świecie . . . . .	17
Stany Zjednoczone . . . . .	19
Australia. . . . .	20
Chiny . . . . .	21
Japonia. . . . .	22
Korea Południowa . . . . .	23
Unia Europejska . . . . .	25
Polska Strategia Wodorowa . . . . .	29
Rekomendacje . . . . .	34
Bibliografia . . . . .	36
Spis map, rysunków, tabel i wykresów. . . . .	40

# Kluczowe liczby

**95 mln t**

wynosiło globalne zapotrzebowanie na wodór w 2022 r.

**400 mln t**

wyniesie prognozowane zapotrzebowanie na wodór w 2050 r.

**ponad 75 proc.**

wodoru w 2050 r. ma być produkowane w procesie elektrolizy z użyciem niskoemisyjnych źródeł energii

**blisko 90 proc.**

zapotrzebowania na wodór w 2050 r. będą stanowić nowe sposoby jego wykorzystania

**7,5 mln t**

wynosi całkowita produkcja wodoru w UE w 2022 r.

**97,9 proc.**

unijnej produkcji wodoru pochodziło z paliw kopalnych

**10 mln t**

cel rocznej produkcji zielonego wodoru w UE wyznaczony w REPowerEU po 2030 r.

**430 mld EUR**

wartość potrzebnych inwestycji w OZE do 2030 r. w UE związanych z produkcją wodoru zielonego

**22,3 mln PLN**

wynosiły wydatki publiczne na badania związane z technologiami wodorowymi i ogniwami paliwowymi w 2022 r.

**1,3 mln t**

wynosiła roczna produkcja wodoru produkowanego z paliw kopalnych w 2022 r. w Polsce

**8**

dolin wodorowych funkcjonowało w Polsce w 2023 r.

# Kluczowe wnioski

- **W najbliższych trzech dekadach globalne zapotrzebowanie na wodór niskoemisyjny wzrośnie 4-krotnie – do 400 Mt względem całkowitego zużycia w 2022 r. opartego głównie na wodorze wysokoemisyjnym.** Głównymi sektorami odpowiadającymi za wysoki wzrost zapotrzebowania na wodór zielony będą transport i przemysł, w których zużycie w 2050 r. sięgnie odpowiednio 177 Mt i 110 Mt. Technologie wodorowe będą rozwijane w transporcie ciężkim, w tym w branży autobusów i komunikacji publicznej. Jedynie Japonia nadal ma w planach rozwój floty osobowych aut wodorowych. W przemyśle głównymi odbiorcami wodoru pozostaną podmioty, które zużywają obecnie głównie wodór szary, produkowany z paliw kopalnych, i które będą musiały przeprowadzać dekarbonizację. Jest to sektor rafineryjny, chemiczny i stalowy oraz gałęzie przemysłu, w których elektryfikacja jest kosztowana bądź niemożliwa do przeprowadzenia.
- Państwa, które mają korzystne warunki geograficzne do produkcji energii ze źródeł odnawialnych, m.in. Australia, koncentrują się na produkcji i eksporcie wodoru. Inne, m.in. Korea Południowa, które mają bogate doświadczenie w rozwoju nowych technologii, skupiają się na rozwoju pojazdów zasilanych wodorem i technologii ogniw paliwowych. Z kolei Unia Europejska i Stany Zjednoczone opracowały strategię, które łączą wszystkie te aspekty, **przy jednoczesnym podkreśleniu znaczenia wodoru w przemyśle, elektroenergetyce i transporcie ciężkim.**
- **Polska potrzebuje zwiększenia inwestycji w badania technologii wodorowych, aby nadążyć za rosnącym znaczeniem tego sektora na arenie międzynarodowej,** zwłaszcza dotyczące elektrolizy z zastosowaniem OZE. W 2022 r. zaledwie 3,1 proc. publicznych wydatków na cele badawcze w Polsce dotyczyło energetyki, podczas gdy w innych krajach członkowskich MAE ten odsetek wynosił ponad 12 proc.
- **Konieczne jest określenie na lata 2030 i 2040 precyzyjnych celów produkcyjnych wodoru zielonego pochodzącego ze źródeł odnawialnych oraz przeprowadzenie analizy ilościowej dotyczącej dodatkowego zapotrzebowania na energię elektryczną.** Taka analiza usprawni planowanie nowej mocy wytwórczych w sektorze elektro-energetycznym, co wpłynie na zwiększenie potencjału produkcji wodoru zielonego.
- **Przemysł powinien być kluczowym sektorem w strategii wodorowej.** Polska jest już jednym z czołowych producentów wodoru szarego w Europie, głównie w przemyśle chemicznym, rafineryjnym i metalurgicznym. Przejście na wodór zielony pomoże ograniczyć emisje w przemyśle przez wykorzystanie istniejących procesów przemysłowych.

- Wsparcie popytu na wodór i rozwijanie badań naukowych to klucz do sukcesu w gospodarce wodorowej. Nowe narzędzia wsparcia i promowanie popytu, podobne do taryfy gwarantowanej dla OZE, mogą przyspieszyć rozwój branży wodoru. Analiza potencjału i tworzenie obszarów specjalizacji w produkcji wodoru są ważne, aby zoptymalizować jego produkcję i dystrybucję.
- **Polska strategia wodorowa wymaga dostosowania do wytycznych unijnych**, szczególnie w obszarze wodoru zielonego. Obok zmian regulacyjnych kluczowe będzie zwiększenie finansowania technologii wodorowych. Inwestycje w badania i rozwój w dziedzinie energetyki powinny wzrosnąć do 10 proc. (o 7 pkt. proc.), tak aby wielkość finansowania była na poziomie innych krajów członkowskich MAE.

H<sub>2</sub>

# Wprowadzenie

Konieczna jest dekarbonizacja nie tylko elektroenergetyki, ale i transportu, przemysłu i ciepłownictwa, co przekłada się na konieczność rozwoju alternatywnych form wytwarzania i magazynowania energii. Jednym z takich narzędzi okazuje się wodór, który może być wykorzystany m.in. do dekarbonizacji hutnictwa czy przemysłu chemicznego, w których ograniczanie emisji obecnie dostępnymi metodami jest utrudnione ze względów technicznych. Światowy kryzys energetyczny wywołany inwazją Rosji na Ukrainę dodatkowo tylko przyspieszył decyzje wielu państw o odchodzeniu od paliw kopalnych, a sam wodór został uznany za paliwo, które może zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne poprzez stabilizację systemu elektroenergetycznego. Szansę na dekarbonizację w rozwoju technologii wodorowych dostrzegły największe światowe gospodarki: Stany Zjednoczone, Korea Południowa, Japonia, Chiny czy Unia Europejska, które opracowują lub już przyjęły strategię wodorowe.

**Celem niniejszego raportu jest analiza strategii wodorowych w ww. gospodarkach i opracowanie na ich podstawie rekomendacji, które mogą wspierać aktualizację Polskiej Strategii Wodorowej.** Rozwój sektora wodorowego może pomóc w dekarbonizacji przemysłu i pozostałych gałęzi gospodarki, a także przyczynić się do zwiększenia wartości dodanej. Dlatego w naszym kraju należy rozwijać regulacje i narzędzia efektywnego wykorzystania wodoru jako kluczowego elementu nowoczesnego sektora energetycznego.

**W niniejszym opracowaniu prezentujemy analizę bieżącej sytuacji globalnej gospodarki wodorowej.** Przyjrzelśmy się obecnej i prognozowanej strukturze zużycia wodoru, dokonaliśmy przeglądu metod jego pozyskiwania i inwestycji w rozwój sektora wodorowego. **Następnie opisaliśmy strategię wodorową na świecie.** Raport zawiera kluczowe informacje z dokumentów przyjętych w Ameryce Północnej, Australii, Azji i Europie. Wskazaliśmy obszary działań i cele, które mogą być wyznacznikiem dla poprawy i aktualizacji kolejnych strategii wodorowych na świecie. **Przeanalizowaliśmy również Polską Strategię Wodorową:** jej założenia, przyjęte kamienie milowe i zaplanowane inwestycje. Na tej podstawie opisaliśmy obecny stan rozwoju sektora wodorowego w Polsce. Wskazaliśmy główne inicjatywy w obszarze rozwoju technologii i potencjał adaptacji wodoru w różnych sektorach.

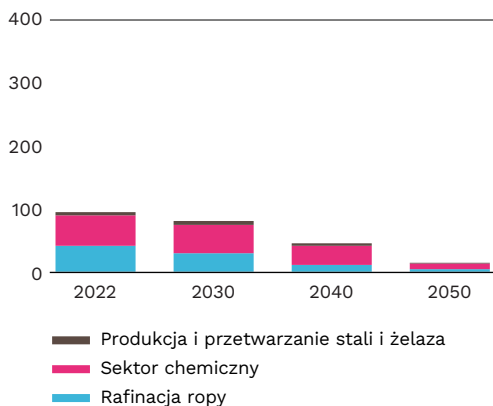
**Przedstawiamy także rekomendacje w zakresie aktualizacji Polskiej Strategii Wodorowej na podstawie dokumentów gospodarek dominujących w sektorze wodorowym i analizy bieżącej sytuacji rozwoju technologii wodorowych w Polsce.**

# Perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej do 2050 r.

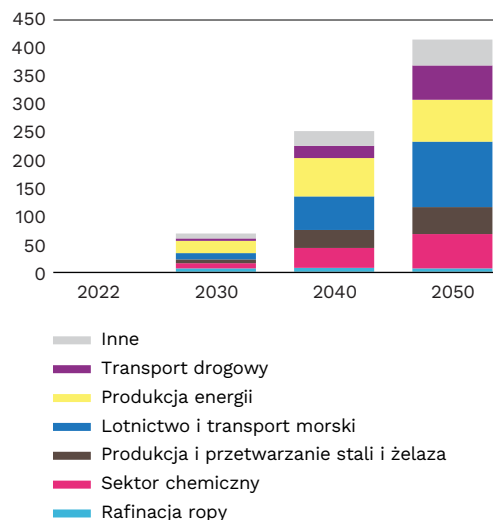
## W 2022 r. zapotrzebowanie światowej gospodarki na wodór wyniosło 95 Mt.

Jest to w większości wodór powstający w procesach wysoce emisyjnych – mniej niż 1 Mt powstała w procesie elektrolizy z udziałem OZE lub z użyciem technologii CCUS (*carbon capture, utilization and storage*). Według prognoz Międzynarodowej Agencji Energetycznej (MAE) w 2050 r. zapotrzebowanie na wodór niskoemisyjny będzie czterokrotnie większe niż łączne zapotrzebowanie na wodór w 2022 r. i wyniesie 400 Mt<sup>1</sup>. Największe zapotrzebowanie w 2050 r. będzie występować w sektorze lotniczym i morskim (116 Mt), produkcji energii elektrycznej (75 Mt) i chemicznym (70 Mt) (IEA, 2023).

Wykres 1. Zapotrzebowanie na wodór wysokoemisyjny w latach 2022-2050 w scenariuszu zerowych emisji do 2050 r. (w Mt)



Wykres 2. Zapotrzebowanie na wodór niskoemisyjny w latach 2022-2050 w scenariuszu zerowych emisji do 2050 r. (w Mt)



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAE.

<sup>1</sup> Najnowsze prognozy MAE są niższe niż jeszcze w 2022 r., gdy prognozowane zapotrzebowanie na 2050 r. miało wynosić ok. 520 Mt.

**Dużą część prognozowanego zapotrzebowania na wodór w 2030 r. (70 Mt, czyli ok. 80 proc.) według MAE mają stanowić nowe sposoby jego wykorzystania.** W 2050 r. będzie to ponad 350 Mt (blisko 90 proc. całości zapotrzebowania). Stopniowo wzrośnie wykorzystanie wodoru i amoniaku w sektorze elektroenergetycznym, w którym będą one służyć jako niskoemisyjny stabilizator systemu. **Zwiększy się także znaczenie wodoru niskoemisyjnego w sektorach lotniczym i morskim.** W produkcji są już pierwsze silniki do statków napędzane amoniakiem. W lotnictwie przełomem może się natomiast okazać produkcja syntetycznej ropy oczyszczonej z użyciem wodoru i dwutlenku węgla, która może być używana w już istniejących samolotach. Pierwsze komercyjne fabryki tego paliwa mają rozpocząć działanie w latach 2025-2026 (IEA, 2023).

**Według prognoz na 2050 r. poza transportem (177 Mt), wodór będzie stosowany głównie w przemyśle (110 Mt),** przede wszystkim w sektorze chemicznym (produkcja amoniaku, metanolu) oraz sektorze produkcji żelaza i stali (proces bezpośredniej redukcji żelaza) (IRENA, 2022). Spadać będzie natomiast wykorzystanie wodoru w procesie rafinacji ropy – z 41 Mt w 2022 r. do 10 Mt w 2050 r.

**Tabela 1. Przegląd metod pozyskiwania wodoru**

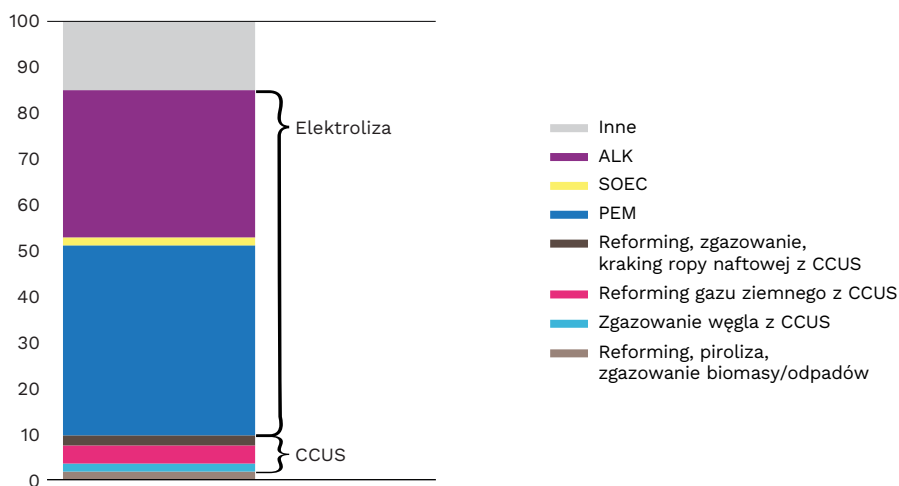
Metoda pozyskiwania wodoru	Emisyjność CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kg H <sub>2</sub> )	TRL	Koszt produkcji LCOH (EUR/kg)
Elektroliza zasilana z OZE (farmy wiatrowe)	0-0,2	7-9	4-6
Elektroliza zasilana z OZE (fotowoltaika)	0-0,2	7-9	5-7
Elektroliza zasilana z siłowni jądrowych	0-0,2	6-7	5-7
Elektroliza zasilana z sieci krajowej	0-30 (zależna od struktury produkcji energii elektrycznej w kraju)	7-9	3-9 (zależna od struktury produkcji energii elektrycznej w kraju)
Gazyfikacja węgla	15-20	9	3-5
Reforming parowy metanu	8-12	9	2-4
Przerób odpadów	7-9	5-7	7-9
Procesy termochemiczne	0-15	5-6	3-9
Piroliza gazu ziemnego	0	4-5	5-7
Reforming parowy biogazu	2-3	5-7	6-7
Gazyfikacja biomasy	2-3	6-8	4-6
Pozostałe metody (m.in. membrany do separacji wodoru, fotoliza, ciemna fermentacja biomasy, procesy biologiczne, deoksydacja wody)	bardzo niska	2-3	powyżej 10

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Tchorek i in. (2023).

**MAE prognozuje, że elektroliza z niskoemisyjnych źródeł energii ma odpowiadać za większość produkcji wodoru w 2050 r.** (ponad 300 Mt). Elektroliza z udziałem OZE jest na wysokim poziomie dojrzałości technologicznej – metody ALK (elektrolizery alkaiczne) i PEM (elektrolizery z membraną polimerową) są w pełni skomercjalizowane, a metoda SOEC (wysokotemperaturowe elektrolizery stałotlenkowe) jest w trakcie komercjalizacji. Metody te charakteryzuje wielokrotnie niższa emisyjność (od 0 do 0,2 kg CO<sub>2</sub>/kg wyprodukowanego wodoru) w porównaniu do dominujących dziś na rynku sposobów produkcji jak gazyfikacja węgla (15-20 kg CO<sub>2</sub>/kg) i reforming parowy metanu (8-12 kg CO<sub>2</sub>/kg).

**Obecnie rozwijane projekty dotyczą głównie wytwarzania wodoru w procesie elektrolizy.** Spośród 227 projektów zidentyfikowanych przez MAE, mających na celu wytwarzanie niskoemisyjnego wodoru i produktów pochodnych, aż 75 proc. (171) dotyczy procesu elektrolizy – najwięcej w technologii PEM (94 projekty) i ALK (73 projekty). 13 projektów skupia się na produkcji wodoru z wykorzystaniem technologii CCUS.

**Wykres 3. Działające obecnie projekty w dziedzinie niskoemisyjnego wodoru i jego pochodnych w podziale na technologie produkcji (w proc.)**



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAE.

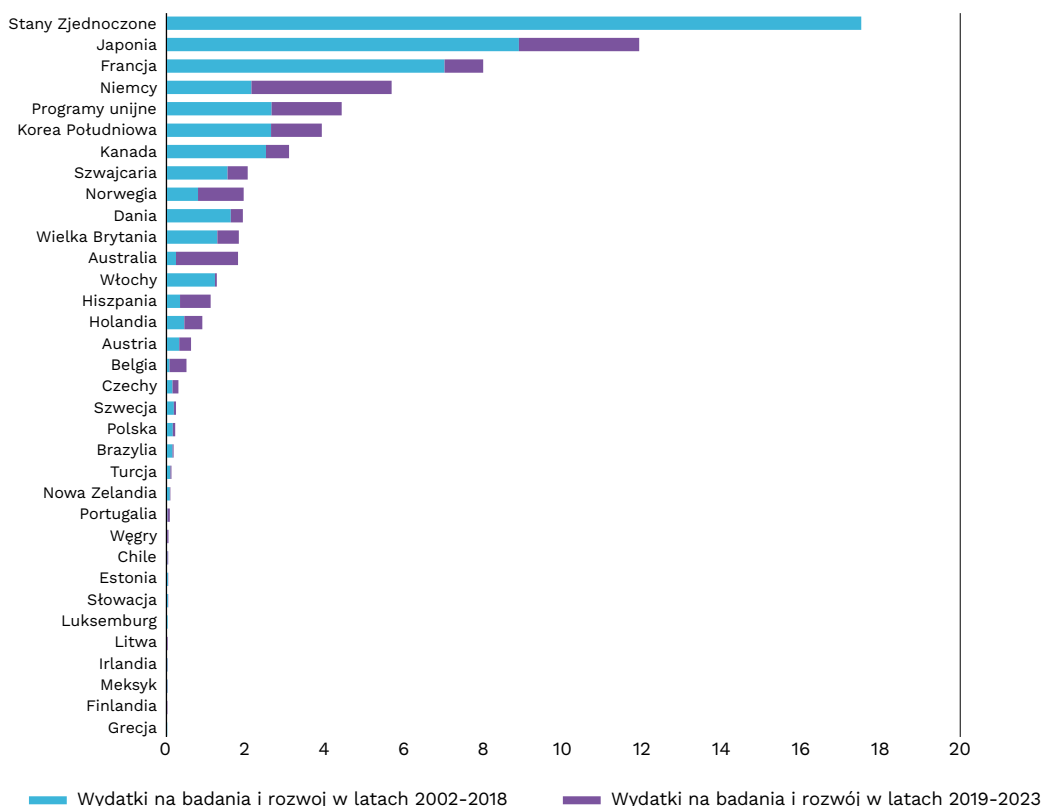
**W ostatnich latach rosną wydatki na badania technologii wodorowych i ogni w paliwowych.** W 2022 r. w krajach należących do MAE wynosiły one 12,5 proc. (14 mld PLN<sup>2</sup>) wszystkich publicznych wydatków na badania w dziedzinie energetyki. To ponad 2-krotny wzrost w porównaniu z 2021 r. (5,8 proc., 6,1 mld USD) i ponad 3-krotny w porównaniu z 2020 r. (3,9 proc., 3,8 mld PLN).

<sup>2</sup> Przeliczenia dokonano wg średniego kursu USD/PLN za 2022 r.

W Polsce w 2022 r. na badania związane z technologiami wodorowymi i ogniwami paliwowymi wydano 22,3 mln PLN (3,1 proc. publicznych wydatków na cele związane z energią), co jest niewielkim spadkiem w stosunku do 2021 r. (23,6 mln PLN) i blisko 3-krotnym wzrostem w porównaniu z 2020 r. (8,9 mln PLN).

**Najwyższe skumulowane wydatki na badania związane z rozwojem technologii wodorowych i ogniw paliwowych w latach 2002-2022 wśród członków MAE poniosły Stany Zjednoczone (22,5 mld PLN), Francja (15 mld PLN) i Japonia (13 mld PLN).** Ok. 4,5 mld PLN wydane na badania związane z technologiami wodorowymi było finansowane ze środków UE – głównie w ramach programów Horizon 2000, Horizon Europe i Innovation Fund. W Polsce łącznie przeznaczono na ten cel ok. 0,21 mld PLN, z czego 0,062 mld PLN w latach 2019-2022.

**Wykres 4. Publiczne wydatki na badania i rozwój technologii wodorowych i ogniw paliwowych w latach 2002-2022 (w mld PLN)**

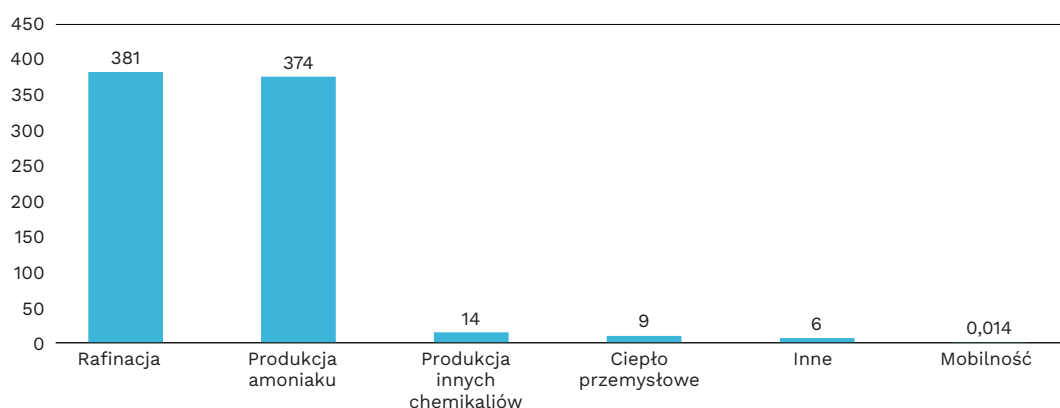


Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych MAE.

# Analiza rozwoju polskiego sektora wodorowego

**Polska jest jednym z trzech największych producentów wodoru w UE, tuż za Niemcami i Holandią, wytwarza ok. 1,3 mln t rocznie, czyli ponad 13 proc. rocznej unijnej produkcji tego surowca** (Kakoulaki i in., 2021). Jest to jednak w większości wódór szary pochodzący głównie z procesu reformingu parowego węglowodorów, wytwarzany w zakładach przemysłowych i tam też wykorzystywany – głównie przez przemysł chemiczny, rafineryjny, spożywczy i metalurgiczny. Planowane w Polsce inwestycje, choć zakładają także produkcję wodoru zielonego z OZE (obecnie działają jedynie nieliczne projekty pilotażowe), w dużej części mają skupiać się także na produkcji wodoru niebieskiego, czyli pozyskiwanego z użyciem metod wychwytywania i składowania dwutlenku węgla – takie inwestycje zapowiedziały m.in. PGNiG i Orlen (www1; www2; Przybyło, 2023).

**Wykres 5. Popyt na wódór w Polsce w 2022 r. w podziale na zastosowanie końcowe (w tys. t rocznie)**

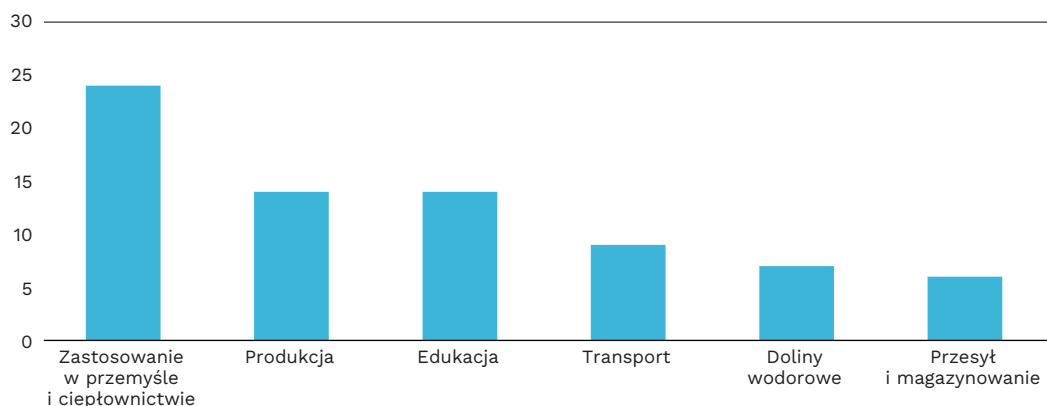


Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych European Hydrogen Observatory (www29).

**Według Europejskiego Obserwatora Wodorowego w Polsce popyt na wodór wynosił ponad 784 tys. t rocznie.** Najwięcej wodoru zużywano do procesu rafinacji ropy naftowej i produkcji amoniaku, co stanowiło ponad 96 proc. łącznego zapotrzebowania. Zużycie w sektorze transportu (mobilności wodorowej) wyniosło jedynie 13,8 t wodoru w ciągu roku.

**Według mapy inwestycji wodorowych opracowanej przez Agencję Rozwoju przemysłu (ARP), obecnie w Polsce 74 podmioty są związane z inwestycjami wodorowymi** – od małych jednostek, jak stacje tankowania wodoru, poprzez instytuty badawcze, aż po największe podmioty na polskim rynku paliwowo-energetycznym. Najwięcej w dziedzinie zastosowania w przemyśle i ciepłownictwie (24), produkcji (14) i edukacji (14)

**Wykres 6. Inwestycje wodorowe w Polsce w podziale na rodzaj działalności podmiotu (liczba podmiotów)**



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ARP.

**Wykorzystanie wodoru w indywidualnym transporcie samochodowym w Polsce ma obecnie znaczenie marginalne, jednak planowane są liczne inwestycje dla transportu zbiorowego.** Liczba zarejestrowanych wodorowych samochodów osobowych (FCEV) w lipcu 2023 r. wyniosła w Polsce 206 (wzrost o 80 w stosunku do grudnia 2022 r.) (www1). Nieco lepiej przedstawia się sytuacja transportu zbiorowego. Choć obecnie w polskich miastach jeździ jedynie kilka autobusów wodorowych, to w dwóch naborach programu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej „Zielony Transport Publiczny” przyznano polskim gminom środki na zakup łącznie aż 119 pojazdów. Według raportu Banku Gospodarstwa Krajowego spośród 900 pojazdów obecnie kupowanych przez samorządy objęte badaniem 6 proc. to autobusy wodorowe, natomiast w perspektywie do 2028 r. w przypadku realizacji wszystkich planów zakupowych 17 proc. z 1200 niskoemisyjnych autobusów będzie miało napęd wodorowy (www2). Powstają także

pierwsze stacje wodorowe, a jeszcze w 2023 r. NESObus – spółka zależna ZE PAK – ma otworzyć w Świdniku fabrykę autobusów wodorowych i produkować ok. 100 pojazdów rocznie. Autobusy wodorowe Urbino 12 hydrogen i Urbino 18 hydrogen produkuje także spółka Solaris.

**Inwestycje w wykorzystanie wodoru planują także Polskie Koleje Państwowe.** PKP Energetyka zapowiada budowę 50 stacji wodorowych do 2028 r., co ma pozwolić na zastąpienie lokomotyw na olej napędowy pociągami wodorowymi, na trasach, gdzie utrudniona jest elektryfikacja (36 proc. polskiej sieci kolejowej). Według zapowiedzi PKP będzie to wymagać ok. 4 tys. t wodoru rocznie i pozwoli oszczędzić emisję 100 tys. t CO<sub>2</sub> rocznie (www3). Planowane jest także użycie wodoru do zasilania trakcji (www4). Inwestycje w użycie wodoru w transporcie kolejowym zapowiada także PGE, które wraz z Siecią Badawczą Łukasiewiczu planuje modernizację pojazdu szynowego WM-15A obejmującą m.in. wprowadzenie elementów wodorowego układu zasilania (www5). Produkcję pociągu zasilanego wodorem zapowiada także PESA (www6).

**Rozpoczęto także realizację pierwszych inwestycji mających na celu wykorzystanie niskoemisyjnego wodoru w polskim ciepłownictwie.** W Koninie, na mocy umowy między ZEPAK a Hydrogenics Europe, do produkcji wodoru ma być wykorzystana energia elektryczna z już działającej instalacji spalania biomasy. Pierwszy zainstalowany elektrolizer ma mieć moc 2,5 MW, a docelowo ma działać 10 elektrolizerów, każdy o mocy 5 MW. Budowę pilotażowych instalacji jest zainteresowana także grupa Enea w Gliwicach i spółka AP-GAZ (www7). Ponadto w drugiej połowie 2024 r. ma rozpocząć się, finansowana przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, budowa osiedla w Środzie Śląskiej, w którym 1,8 tys. mieszkań będzie ogrzewanych technologią wodorową (www8).

**Projektami wodorowymi jest też zainteresowany polski operator gazociągów przesyłowych GAZ-SYSTEM,** który zgłosił trzy pomysły do unijnej listy PCI (*Projects of Common Interest*<sup>3</sup>):

- **Nordycko-Bałtycki Korytarz Wodorowy** (*Nordic-Baltic Hydrogen Corridor*), który ma na celu budowę korytarza służącego do transportu wodoru z Finlandii, przez państwa bałtyckie i Polskę do Niemiec;
- **krajowy szkielet wodorowy** – obejmuje infrastrukturę łączącą krajowych producentów wodoru, źródła importowe, magazyn wodoru w Damasławku z odbiorcami końcowymi i ew. lokalnymi sieciami dystrybucyjnymi;
- **magazyn wodoru w Damasławku** (www9).

<sup>3</sup> PCI to kluczowe projekty dotyczące infrastruktury, które mają na celu dokończenie budowy europejskiego wewnętrznego rynku energii i pomoc w osiągnięciu unijnych celów polityki energetycznej i klimatycznej. Wśród kategorii projektów, które mogą być uznane za PCI znajdują się m.in. projekty dotyczące wodoru, elektrolizery, inteligentne sieci elektroenergetyczne i gazowe.

### **Swój projekt ogłosił także Orlen, który chce być jednym z największych**

**sprzedawców wodoru w regionie.** W ramach projektu „Hydrogen Eagle” grupa Orlen zamierza wybudować ponad 100 stacji tankowania wodoru do obsługi transportu indywidualnego, publicznego i towarowego, w tym 54 stacje w Polsce. W celu zapewnienia wodoru na potrzeby stacji mają powstać huby produkcji, m.in. w Płocku, Włocławku czy Trzebinii. Planowane jest zainstalowanie elektrolizerów o łącznej mocy 250 MW (110 MW w Polsce, 80 MW w Czechach i 60 MW na Słowacji) (www10). Ponadto projekt przewiduje produkcję 15 tys. t wodoru z odpadów komunalnych. Projekt dostał zgodę Komisji Europejskiej na udzielenie wsparcia państwa polskiego w ramach programu „Hy2Use” z IPCEI (*Important Projects of Common European Interest*) (www11). Innym projektem ze wsparciem publicznym jest instalacja elektrolizera o mocy 100 MW wraz z elektrownią fotowoltaiczną i magazynem energii prowadzona przez Lotos Green H<sub>2</sub>. Instalacja zacznie działać w 2027 r. i docelowo będzie produkować 13 600 t wodoru odnawialnego rocznie (www12).

### **Powstały pierwsze inicjatywy rozwoju technologii wodorowych i ogniw paliwowych w Polsce oraz współpracy międzynarodowej.**

W ramach innego programu IPCEI „Hy2Tech Synthos” wraz z partnerem z USA, Ultra Safe Nuclear chcą rozwijać technologię produkcji wodoru z mikromodułowych reaktorów jądrowych (www13). W 2021 r. utworzono spółkę Exion z polskim kapitałem, a dokładniej grupę ZE PAK SA i Cyfrowy Polsat SA. Przedsiębiorstwo zajmuje się produkcją i projektowaniem elektrolizerów (www14). Natomiast w maju 2023 r. polski rząd wraz z rządem japońskim podpisał memorandum o współpracy w dziedzinie wodoru. Współpraca między oboma krajami będzie się koncentrować na rozwoju technologii wodorowych, m.in. technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (www15). Ponadto Narodowe Centrum Badań Jądrowych wraz z Japońską Agencją Energii Atomowej pracują nad rozwojem wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych. Zakładany projekt ma na celu zaprojektowanie i budowę małego eksperymentalnego reaktora o mocy 10 MW w Świerku. Reaktory tego typu mogą służyć w przyszłości do produkcji wodoru dla przemysłu (www16).

### **W październiku 2021 r. podpisano porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju polskiej gospodarki wodorowej będące częścią Polskiej Strategii Wodorowej.**

Porozumienie o współpracy zostało zawarte pomiędzy przedstawicielami administracji publicznej a przedstawicielami biznesu i nauki. Najważniejszą częścią porozumienia jest deklaracja osiągnięcia do 2030 r. co najmniej 50 proc. polskiego wkładu w krajowym łańcuchu wartości gospodarki wodorowej. Wartość dodana z tego tytułu może wynieść 343-870 mln EUR rocznie. Porozumienie zawiera także harmonogram prac w zakresie badań i rozwoju, inwestycji, szkolenia kadr oraz szeroko rozumianej współpracy z innymi sektorami i instytucjami międzynarodowymi. W sumie pod porozumieniem o współpracy podpisało się ponad 120 podmiotów, m.in. ministerstwa, spółki skarbu państwa, małe i średnie firmy, a także instytucje naukowe (www17).

Mapa 1. Utworzone doliny wodorowe w Polsce



Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie danych ARP (www18).

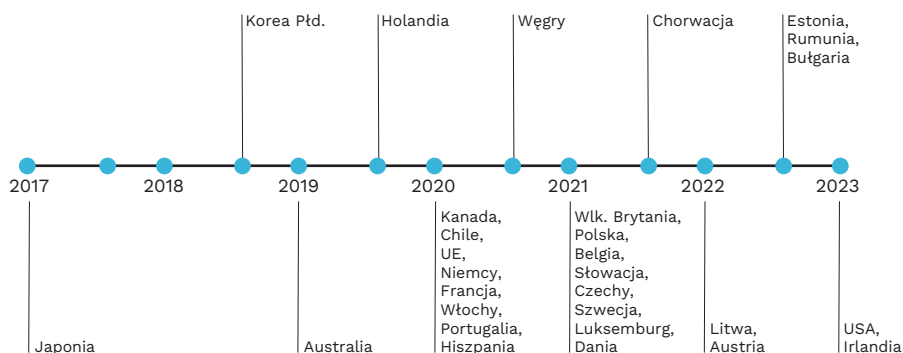
**W 2023 r. w różnych częściach Polski funkcjonowało osiem projektów dolin wodorowych o różnych specjalizacjach.** Doliny wodorowe to przedsięwzięcia mające na celu stworzenie regionalnych rynków wodoru z jak największym łańcuchem wartości, od produkcji do zastosowania końcowego. Większość dolin wodorowych powstała z inicjatywy samorządów wojewódzkich. Najczęstsze formy zakładania dolin to klastry i stowarzyszenia, ale pojawiły się także rady doradcze lub listy intencyjne (www18). Jedną z najbardziej rozwijających się jest Wielkopolska Dolina Wodorowa. Zrzesza m.in. firmy ZE PAK i Solaris, które mocno rozwijają się w obszarze produkcji autobusów wodorowych. Ponadto grupa ZE PAK zamierza produkować wodór i rozbudowuje sieć jego tankowania. W 2023 r. Wielkopolska jako jedyny region opublikował strategię dla doliny i dokonał oceny lokalnego potencjału produkcji i wykorzystania wodoru. Region wielkopolski do 2030 r. chce produkować w sumie 40 tys. t wodoru rocznie i zainstalować elektrolizery o mocy 250 MW (www19). Podobne jak w Wielkopolsce, tak w innych regionach dużą rolę w tworzeniu dolin wodorowych odgrywają największe przedsiębiorstwa lokalne. W Dolnośląskiej Dolinie Wodorowej znaczącą rolę odgrywa KGHM Polska Miedź SA, a Grupa ORLEN SA w Mazowieckiej Dolinie Wodorowej (www20). Jednak większość dolin wodorowych obecnie skupia się bardziej na kwestiach promowania wykorzystania wodoru i edukacji w zagadnieniach związanych z wodorem.

# Strategie wodorowe na świecie

Zwiększone zainteresowanie rozwojem technologii wykorzystujących wodór możemy zauważyć w wybranych dokumentach strategicznych z lat 2017-2023. Dokumenty te określają cele rozwoju gospodarki wodorowej i kierunki działań niezbędne do ich osiągnięcia. Strategie nie są ustandaryzowane i różnią się między sobą wyznaczonymi celami, sposobami ich realizacji czy nawet zastosowaniem technologii. **W listopadzie 2023 r., kiedy powstawał niniejszy materiał, 60 krajów już opublikowało lub opracowuje strategie dotyczące wodoru.** Te państwa, które jako pierwsze wkroczyły na rynek, wyznaczyły cele produkcyjne i wprowadziły programy wsparcia mające na celu zwiększenie tempa rozwoju rynku wodoru. Jednak większość gospodarek dopiero zaczyna badać, w jaki sposób powinny w przyszłości wykorzystywać wodór, czekając na reakcje i rozwój branży przed przyjęciem konkretnych standardów prawnych.

**Pierwsza strategia wodorowa została przyjęta w Japonii w 2017 r., a następne w Australii i Holandii w 2019 r.** W 2020 r. swoje strategie ogłosiły Kanada i Chile, a także Unia Europejska oraz pierwsze kraje członkowskie, w tym Niemcy, Francja, Włochy, Portugalia i Hiszpania. Swoją strategię wodorową Polska opublikowała w 2021 r.

Rysunek 1. Harmonogram publikacji wybranych strategii wodorowych



Źródło: opracowanie własne PIE.

Ze względu na brak ujednoliconego sposobu certyfikacji na świecie, przemysł energetyczny wprowadził nieoficjalny podział wodoru ze względu na metodę produkcji i emisyjność procesu. W zależności od rodzaju produkcji, wodorowi przypisuje się różne nazwy kolorów. Nie ma jednak uniwersalnej konwencji nazewnictwa, a przedstawiony podział nie jest w żaden sposób wiążący.

**Wodór zielony** – wytwarzany głównie w procesie elektrolizy wody przy wykorzystaniu energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Charakteryzuje go brak emisji CO<sub>2</sub> związanej z produkcją wodoru i jego wykorzystaniem.

**Wodór niebieski** – wytwarzany z gazu ziemnego, głównie przy użyciu reformingu parowego z użyciem metody wychwytu i składowania CO<sub>2</sub> emitowanego podczas procesu (CCS).

**Wodór szary** – wytwarzany z paliw kopalnych, głównie przy użyciu metody reformingu parowego, bez zastosowania technologii CCS; CO<sub>2</sub> wytwarzany podczas procesu jest uwalniany do atmosfery.

**Wodór biały** – występuje w złożach naturalnych.

**Wodór czerwony/różowy/purpurowy** – głównie wytwarzany w procesie elektrolizy wody przy wykorzystaniu energii jądrowej. Wysokie temperatury panujące w reaktorach jądrowych są wykorzystywane także w innych procesach produkcji wodoru, np. wysokotemperaturowej elektrolizy lub reformingu parowego metanu.

**Wodór czarny/brązowy** – wytwarzany w procesie zgazowania węgla. Proces charakteryzuje się wysoką emisyjnością CO i CO<sub>2</sub>, które uwalniane są do atmosfery (www21).

**Wiele krajów w swoich dokumentach strategicznych wprowadza definicję wodoru nisko-emisyjnego w celu jego standaryzacji i certyfikacji. Nazewnictwo, jak i kryteria, różnią się w zależności od regionu.**

Stany Zjednoczone definiują **wodór czysty** jako wodór o intensywności emisji dwutlenku węgla równej lub mniejszej niż 2 kgCO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>. W definicji nie rozróżnia się metody produkcji, a więc za czysty może być uznany wodór wytworzony z paliw kopalnych z zastosowaniem technologii CCS.

UE definiuje **wodór odnawialny** jako wodór produkowany w procesie elektrolizy przy wykorzystaniu wyłącznie energii odnawialnej, zgodnie z zasadami dodatkowości, korelacji czasowej oraz korelacji geograficznej. Zasady te stanowią, że energia elektryczna wykorzystywana do produkcji wodoru musi pochodzić z nowych projektów wytwórczych i nie może pochodzić z istniejącej sieci krajowej, ponadto wodór odnawialny może być produkowany wyłącznie wtedy, gdy dostępna jest wystarczająca ilość lokalnej energii odnawialnej.

Japonia definiuje **wodór czysty**, podobnie jak Stany Zjednoczone, na podstawie intensywności emisji. Czysty wodór musi spełniać kryterium 3,4 kgCO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>.

Chiny definiują **wodór odnawialny i wodór czysty**. Próg emisji dwutlenku węgla wynosi odpowiednio: 4,9 kgCO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub> i 14,51 kgCO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>. Dodatkowo wodór odnawialny musi być produkowany przy użyciu energii z OZE (APEC, 2022).

# Stany Zjednoczone

Pierwsze dokumenty dotyczące wykorzystania wodoru w Stanach Zjednoczonych opublikowano już w 2002 r., a następnie aktualizowano je w 2006 r. i 2011 r. Dokumenty te skupiały się na badaniach i rozwoju technologii wodorowych, ale nie przedstawiały perspektywy wdrożenia ich na dużą skalę. W czerwcu 2023 r. USA opublikowały „Krajową strategię i plan działania dotyczący czystego wodoru” (U.S. Department of Energy, 2023). Dokument wyznaczał trzy **kluczowe cele odnoszące się do:**

- **strategicznego zastosowania czystego wodoru** – ze źródeł niskoemisyjnych w sektorach trudnych do dekarbonizacji takich jak przemysł chemiczny i rafineryjny, produkcja stali, transport ciężki, magazynowanie energii;
- **redukcji kosztu wytwarzania czystego wodoru** – głównym elementem jest uruchomiony w 2021 r. program „Hydrogen Energy Earthshot” (HydrogenShot), który ma być katalizatorem innowacji poprzez zwiększenie inwestycji sektora prywatnego i pobudzenie rozwoju w całym łańcuchu dostaw w produkcję wodoru pochodzącego ze źródeł odnawialnych. Działania te i zwiększone prywatne inwestycje w magazynowanie i dystrybucję wodoru skutkować mają obniżeniem kosztu wytwarzania i dostaw wodoru zielonego. Do 2036 r. koszt wytworzenia wodoru powinien spaść do 1 USD/kg, a całkowity koszt wodoru na stacjach tankowania do 4 USD/kg;
- **stworzenia regionalnych centrów czystego wodoru** – pozwoli to na zwiększenie skali produkcji, dystrybucji i magazynowania. Celem programu jest skoncentrowanie na niewielkim obszarze łańcucha dostaw, aby ograniczyć koszty przesyłu na większe odległości. Łącznie przeznaczono 8 mld USD na stworzenie co najmniej czterech regionalnych centrów czystego wodoru. Priorytetem strategii jest tworzenie miejsc pracy, zabezpieczanie długoterminowych kontraktów na odbiór oraz ożywienie krajowego sektora produkcyjnego i inwestycji sektora prywatnego.

Realizację zawartych w dokumencie celów podzielono na trzy okresy między 2022 r. a 2036 r. i uszeregowano je według trzech kategorii:

- produkcja,
- infrastruktura i łańcuchy dostaw,
- zastosowanie końcowe.

Cele wyznaczone do 2036 r.:

- zwiększenie wydajności elektrolizerów do poziomu 46 kWh/kg, a żywotności do 80 000 godzin;
- zmniejszenie kosztu wytwarzania czystego wodoru do 1 USD/kg (w 2022 r. 5 USD/kg);
- zmniejszenie całkowitej ceny wodoru na stacjach do 4 USD/kg (w 2023 r. 6-9 USD/kg) ([www22](http://www22));

- obniżenie kosztu ogniw paliwowych dla pojazdów ciężarowych do 80 USD/kW;
- zwiększanie wielkości produkcji czystego wodoru do co najmniej 10 mln t rocznie (w 2023 r. 123,4 tys. t);
- zwiększenie mocy zainstalowanej elektrolizerów do co najmniej 3000 MW (w maju 2022 r. łączna moc zainstalowana elektrolizerów PEM, SOEC i elektrolizerów alkaicznych wynosiła 67 MW) (www23).

**W strategii przedstawiono również cele dotyczące recyklingu i odzysku metali z grup platynowców niezbędnych do rozwoju gospodarki wodorowej.**

## Australia

Australijska strategia z listopada 2019 r. skupia się na miernikach sukcesu, które odnoszą się do stworzenia akceptowalnego w środowisku międzynarodowym systemu certyfikacji wodoru, tworzenia nowych miejsc pracy czy zajęcia pozycji jednego z trzech najważniejszych eksporterów wodoru na rynku azjatyckim (COAG, 2019). **W strategii wymieniono kluczowe działania do 2025 r.:**

- wprowadzanie projektów pilotażowych i demonstracyjnych,
- przeprowadzenie oceny potrzeb w zakresie infrastruktury i łańcucha dostaw,
- budowa demonstracyjnych hubów wodorowych (po 2025 r. zwiększanie skali projektów w celu wsparcia potrzeb eksportowych i krajowych),
- budowa łańcuchów dostaw,
- rozwój infrastruktury eksportu wodoru.

**Wodór miałby pełnić rolę uzupełniającą dla bateryjnych pojazdów elektrycznych, głównie w transporcie ciężkim i w podróżach długodystansowych.**

W strategii wspomniano o roli wodoru w zastosowaniach przemysłowych oraz o możliwości jego mieszania z gazem ziemnym. Wykorzystanie wodoru w istniejących sieciach gazowych jest postrzegane jako stymulant popytu na wodór w gospodarstwach domowych. W strategii zauważono jednak, że istnieją bariery dla powszechnego zastosowania wodoru w sieciach dystrybucyjnych gazu – techniczne, ekonomiczne i regulacyjne. Dotyczy to w szczególności mieszanek z gazem ziemnym o zawartości wodoru powyżej 10 proc.

**Od 2019 r. rząd Australii czynnie wspierał rozwój gospodarki wodorowej.**

Nawiązano liczne partnerstwa międzynarodowe, w tym z Japonią, Koreą Południową, Indiami, Niemcami, Holandią i USA oraz uruchomiono programy, których celem jest wsparcie rozwoju technologii wodorowych.

Jednym z programów wodorowych jest „Australian Clean Hydrogen Trade Program” o wartości 150 mln AUD, który będzie wspierać australijskie projekty łańcucha dostaw wodoru w ramach partnerstwa japońsko-australijskiego. Obecnie rząd australijski planuje uruchomienie programu „Hydrogen Headstart”, którego fundusz wynosi 2 mld AUD. Program ma za zadanie wsparcie przychodów dla dużych projektów związanych z wodorem odnawialnym w drodze konkurencyjnych kontraktów na produkcję wodoru (www24).

W 2023 r. rząd Australii ogłosił plan aktualizacji strategii wodorowej z 2019 r. w celu identyfikacji barier w przepisach dot. wodoru i opracowania rekomendacji dla ulepszenia obowiązujących przepisów.

## Chiny

Wsparcie dla gospodarki wodorowej przed 2019 r. skupiało się na systemie dopłat do pojazdów z ogniwami paliwowymi (NRDC, 2022). **We wrześniu 2020 r. rząd chiński zrewidował swoją politykę dotacji, rozszerzając jej zakres na cały sektor pojazdów wodorowych, zamiast ograniczać się do użytkowników końcowych.** Nowa polityka objęła cztery obszary:

- poprawę technologii w pojazdach FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicles*),
- przeprowadzenie projektów demonstracyjnych,
- obniżenie kosztów w całym łańcuchu wartości FCEV,
- poprawa otoczenia legislacyjnego.

Polityka ta miała obowiązywać przez cztery lata, a wsparcie być przeznaczone dla wybranych miast i klastrów miejskich. Każde z wybranych miast lub klastrów miało otrzymać do 1,5 mld CNY dotacji i dodatkowe 0,2 mld CNY dotacji do rozbudowy infrastruktury tankowania wodoru (www4).

W Chinach oprócz planów polityki wodorowej na szczeblu krajowym powstały plany przyjęte przez prowincje i miasta. **W sierpniu 2021 r. władze Pekinu ogłosiły plan rozwoju branży energetyki wodorowej na lata 2021-2025.** Pekin zamierza udzielić wsparcia dla 10-15 przedsiębiorstw zaangażowanych w budowę łańcucha wartości dla gospodarki wodorowej. Ponadto do 2025 r. w regionie planuje się oddanie 74 stacji tankowania wodoru i przewiduje ponad 10 tys. pojazdów FCEV (www25).

W 2022 r. Narodowa Komisja Rozwoju i Reform w Chinach opublikowała dokument „Średnio- i długoterminowe planowanie rozwoju energetyki wodorowej 2021-2035” (NRDC, 2022). **Strategia ustanawia cel produkcji wodoru zielonego do 2025 r. na poziomie 100-200 tys. t rocznie.** W 2021 r. produkcja wodoru ze źródeł odnawialnych wynosiła ok. 0,1 proc. łącznej produkcji, czyli mniej niż 34 tys. t rocznie (WEF, 2023). Ponadto do 2025 r. po chińskich drogach ma jeździć około 50 tys. pojazdów FCEV. W 2022 r. w Chinach było niecałe 13 tys. pojazdów FCEV, z czego większość to autobusy i pojazdy użytkowe. W pierwszym okresie strategia skupia się na rozwoju mobilności opartej na wodorze, szczególnie pojazdów użytkowych. W przeciwieństwie

do poprzednich planów, w nowej strategii nie wspomniano o wspieraniu produkcji wodoru z paliw kopalnych. W dalszej perspektywie, do 2035 r., Chiny mają skupić się na wykorzystaniu wodoru w przemyśle, transporcie i magazynowaniu energii.

**Chiny w strategii z 2022 r. określają plan działania podzielony na cztery obszary, kluczowe dla rozwoju gospodarki wodorowej:**

- pierwszy obszar rozwoju obejmuje wsparcie badań nad ogniwami paliwowymi oraz technologiami produkcji, magazynowania i transportu wodoru. W tym celu plan zakłada utworzenie platformy wsparcia innowacji przemysłowych;
- w drugim obszarze Chiny zamierzają wspierać budowę infrastruktury do produkcji, transportu i magazynowania wodoru. Produkcja ta ma się rozwijać w pobliżu dużych ośrodków popytu w celu obniżenia kosztów transportu. Państwo Środka w pierwszej kolejności będzie zachęcało do wykorzystania wodoru produkowanego ze źródeł odnawialnych i wodoru, który jest produktem ubocznym w procesach przemysłowych. W dalszej perspektywie Chiny będą badać możliwości produkcji wodoru z wykorzystaniem energetyki jądrowej i słonecznej;
- trzeci obszar dotyczy zastosowania wodoru w elektroenergetyce przy wykorzystaniu ogniw paliwowych. Planowane jest uruchomienie w Chinach projektów pilotażowych i dalszych badań nad zastosowaniem wodoru w zakresie sezonowego magazynowania energii i wsparcia sieci podczas szczytowych obciążeń;
- na koniec podkreślono potrzebę dostosowania ram prawnych i ustanowienie standardów i zasad bezpieczeństwa dla gospodarki wodorowej. W rządowej strategii wodorowej zauważono także potrzebę aktywnego prowadzenia współpracy międzynarodowej, m.in. w ramach projektu „Pasa i Szlaku” (www26).

## Japonia

**Najważniejszym celem przyjętej strategii jest obniżenie kosztów produkcji wodoru do 3 USD/kg do 2030 r. i do 2 USD/kg do 2050 r.** Aby to osiągnąć wyznaczono konkretne działania, jak budowa międzynarodowych partnerstw, rozwój łańcuchów dostaw wodoru na dużą skalę oraz zwiększenie popytu wewnętrznego. W strategii zaplanowano wsparcie produkcji wodoru z paliw kopalnych z zastosowaniem technologii CCS oraz wodoru zielonego.

W 2019 r. Japonia opublikowała „Plan Działania dla Wodoru i Ogniw Paliwowych” (*Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells*), który wyznacza nowe cele w sektorze transportu. **Założono zwiększenie liczby pojazdów wodorowych do 40 tys. w 2020 r., 200 tys. do 2025 r. i do 800 tys. w 2030 r.** Dodatkowo do 2020 r. zaplanowano budowę 160 stacji wodorowych, a do 2025 r. – 320. Planuje się otwarcie 100 regularnych połączeń autobusów zasilanych wodorem do 2020 r. i 1200 do 2030 r. **Dodatkowo, ze względu na zmiany**

**prognoz cen LNG, zaktualizowano cel kosztu produkcji 1 kg wodoru z 2 USD do 2050 r. na 1,3 USD.** W 2021 r. koszt produkcji niskoemisyjnego wodoru w Japonii wyniósł 8 USD/kg (www8). Zaplanowano również rozwój ciężkiego transportu kołowego oraz statków zasilanych wodorem. W strategii podkreślono konieczność międzynarodowej ekspansji i współpracy w zakresie wykorzystywania japońskiej technologii, tworzenia wspólnego łańcucha dostaw i standaryzacji.

W czerwcu 2023 r. Japonia przedstawiła aktualizację „Podstawowej Strategii Wodorowej”. Podobnie jak w strategii z 2017 r., Japonia wskazuje na wykorzystanie wodoru niskoemisyjnego, czyli produkowanego z OZE lub przy użyciu technologii CCS. W strategii wodór niskoemisyjny zdefiniowano jako emitujący maksymalnie 3,4 kg CO<sub>2</sub>e na 1 kg wodoru. **Aktualizacja strategii obejmuje zmianę priorytetów wykorzystania wodoru z większym naciskiem na przemysł i energetykę, a mniejszym na transport.** Cele dotyczące pojazdów wodorowych zostały utrzymane, jednak straciły wysoki priorytet. **Zmianą w strategii jest dodanie celu dotyczącego produkcji krajowej i importu z zagranicy wodoru do 12 mln t do 2040 r., a następnie do 30 mln t w 2050 r.** (w tym wodór w formie amoniaku). W strategii zauważono potrzebę budowania międzynarodowych partnerstw w zakresie wodoru głównie z Australią, Bliskim Wschodem, Ameryką Północną i Azją. Wysoki priorytet importu i eksportu wodoru oraz rozwoju technologii zakłada zainstalowanie do 2030 r. 15 GW elektrolizerów nie tylko w Japonii, ale na całym świecie, przez firmy powiązane z Japonią (www28).

## Korea Południowa

**Główny nacisk w koreańskiej strategii położono na rozwój rynku pojazdów napędzanych wodorem i ogniw paliwowych.** W styczniu 2019 r. Korea Południowa opublikowała „Plan dla Gospodarki Wodorowej Korei” (Republic of Korea, 2019). Cele zostały podzielone na dwa główne okresy: do 2022 r. i 2040 r. W głównej części dokumentu przedstawiono działania i cele z perspektywą do 2040 r. odnoszące się do czterech głównych obszarów gospodarki wodorowej:

- wykorzystanie wodoru,
- produkcja,
- rozwój technologii,
- zapewnienie bezpieczeństwa.

Pierwszym z obszarów jest stworzenie systemu wykorzystania wodoru. Strategia ma na celu zwiększenie popytu na wodór, szczególnie w obszarze transportu i energetyki. **Do głównych zadań należy rozbudowa infrastruktury wodorowej i zwiększenie podaży wszystkich rodzajów pojazdów napędzanych tym gazem.** W ramach wparcia instytucje mają zapewnić odpowiednie dotacje dla pojazdów wodorowych, w tym samochodów osobowych i ciężarowych. Korea Południowa planuje wyprodukowanie do 2040 r. 6,2 mln pojazdów wodorowych, z czego 3,3 mln z przeznaczeniem na eksport.

Do obsługi tych pojazdów zaplanowano budowę 1200 stacji tankowania wodoru. Docelowa cena wodoru na stacjach miała wynieść w 2022 r. 6000 KRW/kg i ma spaść do 3000 KRW/kg w 2040 r.

Drugim obszarem wykorzystania wodoru ma być energetyka. Korea Południowa chce obniżyć koszty i rozwijać rynek ogniw paliwowych na potrzeby produkcji energii. **Do 2040 r. planuje wyprodukować ogniwa o łącznej mocy 15 GW, z czego 8 GW ma zaspokoić jej popyt własny.**

Rozbudowa stabilnego i uniwersalnego systemu zaopatrzenia w wodór. Podaż w pierwszej kolejności ma być zapewniona wodorem produkowanym z gazu ziemnego oraz wodorem będącym produktem ubocznym przemysłu petrochemicznego. Produkcja wodoru z OZE ma być rozwijana w dalszej perspektywie. W ustabilizowaniu dostaw w Korei ma pomóc wodór zielony z importu, dla którego planuje się budowę infrastruktury transportowej. W strategii założono dostarczenie 470 tys. t wodoru w 2022 r., z perspektywą zwiększenia tej ilości do 1,94 mln t rocznie w 2030 r. i 5,26 mln t w 2040 r. Udział wodoru z gazu naturalnego ma spaść do 50 proc. łącznych dostaw w 2030 r. i 30 proc. w 2040 r. Ponadto do 2030 r. celem nieokreślonym liczbowo jest stworzenie krajowej infrastruktury magazynowej i przesyłowej wodoru.

**Stworzenie przemysłu wodorowego opartego na technologiach.** Kluczowe dla przemysłu wodorowego mają być szczegółowe plany rozwoju technologii wodorowych dla każdego etapu łańcucha wartości. W początkowej fazie budowy łańcucha wartości dla wodoru mają pomóc przemysłowe klastry i trzy demonstracyjne miasta wodorowe. Sektor ma w sumie zapewnić 420 tys. miejsc pracy, z czego 75 proc. w sektorze motoryzacyjnym produkującym pojazdy zasilane wodorem.

W listopadzie 2022 r. koreański rząd wydał komunikat aktualizujący podejście do gospodarki wodorowej. **W nowej polityce większy nacisk położono na rozwój możliwości wykorzystania czystego wodoru i rozszerzono działania na cały przemysł, zamiast koncentrować się na pojazdach wodorowych.** Dodano kolejne cele produkcji – 30 tys. pojazdów użytkowych napędzanych wodorem do 2030 r. oraz budowę 70 stacji tankowania ciekłego wodoru. Polityka opiera się na podejściu „3UP”, które obejmuje trzy główne obszary działań:

- **„Scale-Up”** – celem jest skalowanie działalności wodorowej w Korei,
- **„Build-Up”** – obejmuje stworzenie odpowiednich ram prawnych a także infrastruktury dystrybucyjnej,
- **„Level Up”** – celem jest rozwój technologii produkcji i dystrybucji wodoru.

# Unia Europejska

W 2020 r. Komisja Europejska przyjęła strategię, w której przedstawiła plan rozwoju wodoru w UE (KE, 2020). Plan działania podzielono na trzy fazy. Pierwsza w latach 2020-2024 **zakłada zainstalowanie elektrolizerów zasilanych OZE o mocy co najmniej 6 GW i możliwościach produkcyjnych ok. 1 mln t wodoru rocznie**. Etap ten polega przede wszystkim na zwiększeniu produkcji wodoru odnawialnego w UE i wykorzystaniu go lokalnie przez duże centra popytu, w tym rafinerie, huty stali, kompleksy chemiczne produkujące nawozy. Priorytetową kwestią w tej fazie jest ustanowienie ram regulacyjnych dotyczących rynku wodoru, tworzenie zachęt inwestycyjnych i ustanowienie zasad pomocy państwowej. **Faza druga obejmuje lata 2025-2030, zakładanym celem jest 40 GW mocy zainstalowanej w elektrolizerach zasilanych OZE i produkujących około 10 mln t wodoru rocznie**. Na tym etapie wódór będzie odgrywać istotną rolę w stabilizacji i bilansowaniu systemu elektroenergetycznego, dodatkowo planuje się rozwój wielkoskalowych instalacji do magazynowania wodoru i dolin wodorowych. Zostanie też stworzona sieć stacji tankowania wodoru. **Trzecia faza obejmuje lata 2030-2050 i zakłada osiągnięcie dojrzałości technologii związanych z wodorem** oraz wykorzystanie go w sektorach, w których obniżenie emisji stanowi duże wyzwanie. Ze względu na znaczny wzrost zapotrzebowania na energię z OZE zostaną zwiększone inwestycje w nowe moce wytwórcze.

W strategii przedstawione zostały plany, inwestycje i szacowane koszty osiągnięcia założonych celów. **Przewidywane inwestycje w elektrolizery do 2030 r. wynoszą 24-42 mld EUR, zaś inwestycje związane z produkcją energii elektrycznej z OZE potrzebnej do elektrolizy wyniosą 220-340 mld EUR. Natomiast inwestycje wspomagające gospodarkę wodorową, takie jak transport, magazynowanie, stacje tankowania i dystrybucja, wygenerują koszty ok. 65 mld EUR.**

W celu implementacji przepisów i stworzenia otoczenia regulacyjnego wspierającego rozwój gospodarki wodorowej w UE, Komisja Europejska stale opracowuje nowe przepisy. Na przykład ogłoszony maju 2022 r. plan REPowerEU, Plan przemysłowy Zielonego Ładu z 2023 r. czy pakiet Fit for 55.

- w planie REPowerEU wyznaczono cel **10 mln t krajowej produkcji wodoru odnawialnego oraz 10 mln t importu do 2030 r. (KE, 2022a);**
- **Plan przemysłowy Zielonego Ładu z 2023 r. zakłada wprowadzenie aukcji na wsparcie produkcji wodoru przez 10 lat. Budżet pilotażowej aukcji ma wynieść 800 mln EUR** i przeprowadzony ma być jesienią 2023 r. (KE, 2023a). Jednym z instrumentów wprowadzanych przez KE dla wsparcia wodoru będzie Europejski Bank Wodoru. Bank ma skoordynować obecne programy finansowania wodoru w UE i prowadzić aukcje wodorowe. Dodatkowo ma wspierać produkcję wodoru poza granicami UE poprzez udzielanie pożyczek czy gwarancji oraz wspierać import przez aukcje dla dostawców zagranicznych;

- pakiet Fit for 55 zawiera wnioski ustawodawcze przekładające europejską strategię wodorową na konkretne dokumenty europejskiej polityki wodorowej, które wyznaczają wiążące cele dla państw członkowskich oraz zapewniają otoczenie prawne regulujące działanie i wspierające rozwój rynku wodoru w UE. Dokumenty dotyczące wodoru to:
  - pakiet na rzecz dekarbonizacji rynków wodoru i gazu obejmujący rewizję dyrektywy gazowej UE (KE, 2021a). **Wprowadza zasady dotyczące blendingu wodoru do 5 proc.** oraz certyfikacji gazów odnawialnych i niskoemisyjnych, zapewnia dostęp tym gazom do terminali LNG i infrastruktury magazynowania oraz dostęp do rynku hurtowego. Pakiet ułatwia integrację gazów odnawialnych i niskoemisyjnych z istniejącą siecią gazową, znosi koszty taryf transgranicznych i zmniejsza koszty zatlaczania tych gazów o 75 proc.,
  - rewizja dyrektywy o odnawialnych źródłach energii (RED III) wprowadza cele udziału wodoru zielonego w przemyśle – **42 proc. zużywanego wodoru powinno stanowić wodór zielony, a do 2035 r. 60 proc. (KE, 2023b),**
  - akty delegowane do dyrektywy RED II: pierwszy akt delegowany ustanawia definicje odnawialnego wodoru, drugi – kryteria obliczenia emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia RFNBO (paliwa odnawialne niebędące pochodzenia biologicznego) (KE, 2023c; 2023d),
  - rewizja dyrektywy w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych wprowadza wymagania dotyczące infrastruktury wodorowej. Do 31 grudnia 2030 r. co 200 km wzdłuż sieci bazowej TEN-T będzie **ogólnodostępna stacja tankowania wodoru o łącznej przepustowości co najmniej 1 t dziennie**. Do 31 grudnia 2030 r. w każdym węźle miejskim zostanie uruchomiona co najmniej jedna publicznie dostępna stacja tankowania wodoru (KE, 2023e).

Wśród przeanalizowanych gospodarek **największy cel dotyczący produkcji wodoru w perspektywie 2030 r. wyznaczyły Stany Zjednoczone i Unia Europejska, odpowiednio 10 mln t produkcji rocznie czystego wodoru i 10 mln t wodoru zielonego**. Ze względu na niestabilną sytuację geopolityczną Unia Europejska w swoich dokumentach skupia się głównie na wodorze zielonym, czyli produkowanym wyłącznie przy użyciu procesu elektrolizy wody, zasilanym OZE. Stany Zjednoczone w swoich dokumentach definiują czysty wodór, który nie może przekraczać wyznaczonych poziomów emisji. Oznacza to, że do czystego wodoru zaliczany jest także wodór produkowany z paliw kopalnych przy użyciu technologii CCS. **W 2022 r. wielkość produkcji wodoru zielonego w UE wyniosła 15 tys. t, a produkcja czystego wodoru w Stanach Zjednoczonych – 123,4 tys. t.**

**Tabela 2. Przegląd wybranych elementów i celów ze strategii wodorowych wybranych państw**

Kraj	Rok publikacji strategii	Cel produkcji/ import wodoru	Rodzaj wspieranego wodoru	Priorytetowe zastosowania
Australia	2019	Brak celu produkcji	<ul style="list-style-type: none"> <li>wodór zielony (ze źródeł odnawialnych),</li> <li>z paliw kopalnych z CCSU.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>produkcja na dużą skalę wodoru i amoniaku,</li> <li>eksport do krajów wysoko rozwiniętych (Japonia, Korea, Niemcy),</li> <li>skupienie się na infrastrukturze do eksportu wodoru i amoniaku.</li> </ul>
Korea Płd.	2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>2022 r.: 470 tys. t rocznie</li> <li>2030 r.: 1,94 mln t rocznie</li> <li>2040 r.: 5,26 mln t rocznie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wodór zielony,</li> <li>wodór szary z reformingu gazu (LNG) do 2030 r. udział do 50% i do 2040 r. do 30%</li> <li>produkt uboczny z procesów petrochemicznych.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>pojazdy FCEV (w tym plany eksportowe) do 2040 r. w sumie wyprodukowanie 6,2 mln pojazdów,</li> <li>generacja energii elektrycznej – 8 GW mocy ogniw paliwowych w kraju,</li> <li>stworzenie infrastruktury do transportu i magazynowania wodoru.</li> </ul>
Japonia	2017 r. (aktualizacja w 2023 r.)	<p>Strategia 2017 r.: brak informacji, aktualizacja 2023 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2030 r. 3 mln t rocznie,</li> <li>2040 r. 12 mln t rocznie,</li> <li>2050 r. 20 mln t rocznie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wodór z importu,</li> <li>wodór zielony,</li> <li>wodór z paliw kopalnych z CCSU.</li> </ul>	<p>W strategii 2017 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pojazdy FCEV (do 2030 r. 800 tys.),</li> </ul> <p>w aktualizacji 2023 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>wykorzystanie w przemyśle ciężkim (chemicznym, stalowym),</li> <li>badania nad technologią ogniw paliwowych i elektrolizerami.</li> </ul>
Chiny	2022	Do 2025 r. 100-200 tys. t rocznie (tylko wodoru zielonego).	<ul style="list-style-type: none"> <li>wodór zielony,</li> <li>wodór jako produkt uboczny (.in.. z gazu koksowniczego, przemysłu nawozów chemicznych, chloro-alkaliów),</li> <li>w dalszej perspektywie – z energii jądrowej.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>w początkowej fazie transport/ pojazdy FCEV, głównie komercyjne, do 2030 r. 50 tys. pojazdów,</li> <li>w dalszej perspektywie przemysł ciężki (dekarbonizacja),</li> <li>infrastruktura do transportowania i magazynowania,</li> <li>elektroenergetyka i zasilanie aglomeracji lub kompleksów przemysłowych.</li> </ul>
USA	2023	Do 2030 r. 10 mln t rocznie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>wodór zielony,</li> <li>wodór z paliw kopalnych z CCS,</li> <li>w dalszej perspektywie – z energii jądrowej.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>w pierwszej fazie dekarbonizacja przemysłu rafineryjnego i produkcji amoniaku;</li> <li>w drugiej fazie produkcja stali (1 t/tydzień do 2028 r.) i chemikaliów, a w dalszej perspektywie przemysł cementowy i produkcja metanolu,</li> <li>produkcja energii elektrycznej, magazynowanie energii w wodorze i mieszanie z gazem naturalnym,</li> <li>transport komercyjny (ciężarówki, pociągi, statki, samoloty),</li> <li>co najmniej 4 regionalne sieci produkcji zlokalizowane blisko miejsc zapotrzebowania końcowego i/lub z dobrymi warunkami do produkcji ze źródeł odnawialnych,</li> <li>obniżenie kosztów produkcji do 1USD/1kg wodoru do 2030 r.,</li> <li>poprawa wydajności elektrolizerów do 46 kWh/kg wodoru do 2036 r.</li> </ul>
UE	2020	<p>Do 2030 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>produkcja 10 mln t rocznie,</li> <li>import 10 mln t rocznie.</li> </ul>	Wodór zielony	<ul style="list-style-type: none"> <li>przemysł (dekarbonizacja): rafinerie, huty stali, kompleksy chemiczne,</li> <li>zainstalowanie 6 GW mocy elektrolizerów do 2024 r. i 40 GW mocy do 2030 r.,</li> <li>transport, szczególnie autobusy i ciężarówki, w przyszłości wykorzystanie paliw syntetycznych,</li> <li>w dalszej perspektywie bilansowanie sieci elektroenergetycznych,</li> <li>import wodoru (Europejski Bank Wodoru).</li> </ul>

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie: Tchorek i in. (2023).

Korea Południowa jako jedyna z przeanalizowanych gospodarek deklaruje cele dotyczące produkcji tzw. wodoru szarego, czyli produkowanego z paliw kopalnych w procesie reformingu. W 2018 r. wielkość produkcji wodoru wynosiła około 130 tys. t. Do 2030 r. **Korea zakłada, że wodór szary będzie stanowił 50 proc. całkowitej produkcji, a w 2040 r. – 30 proc. Do 2030 r. Korea planuje zwiększenie produkcji wodoru do 1,94 mln t rocznie, a do 2040 r. – do 5,26 mln t rocznie.**

Ze względu na coraz szybszy rozwój rynku wodoru i prognozy gwałtownego wzrostu zapotrzebowania na wodór, wiele światowych gospodarek walczy o zajęcie pozycji w sektorze eksportu wodoru. Australia planuje zostać eksporterem wodoru do krajów wysoce rozwiniętych, w tym Japonii, Korei, Niemiec oraz być dominującym eksporterem dla rynku Azji Wschodniej. Według wstępnych wyliczeń, aby osiągnąć ten cel, Australia będzie musiała przeznaczyć na inwestycje w infrastrukturę służącą do transportu wodoru do 2030 r. 80 mld USD.

W pierwszych strategiach jako kluczowe zastosowanie końcowe wiele krajów wskazywało transport i rozwój samochodów osobowych FCEV. **Cele w tym zakresie w swoich strategiach wyznaczyły Japonia w strategii z 2017 r. w wysokości 200 tys. pojazdów wodorowych do 2030 r. i 800 tys. do 2040 r. oraz Chiny – 50 tys. pojazdów FCEV do 2025 r.** Wraz z aktualizacją poszczególnych strategii znaczenie wykorzystania wodoru w transporcie osobowym zaczęło maleć. Dostrzeżono ograniczenia technologiczne wynikające z wysokiego kosztu produkcji samochodów FCEV i kosztu samego paliwa oraz fakt, że przy ograniczonych możliwościach produkcji wodoru zielonego w pierwszej kolejności należy go przeznaczyć dla sektorów ciężkich do dekarbonizacji czy elektroenergetyki.

# Polska Strategia Wodorowa

W październiku 2021 r. polski rząd opublikował „Polską Strategię Wodorową do 2030 z perspektywą do roku 2040” (MKiŚ, 2021). Dokument strategiczny określa cele rozwoju gospodarki wodorowej i główne kierunki działań do 2030 r. Według strategii gospodarka wodorowa może przyczynić się do większego wykorzystania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. **Wodór miałby w polskiej gospodarce pełnić przede wszystkim rolę magazynu energii, umożliwiając szybsze osiągnięcie neutralności klimatycznej.** Drugi obszar strategiczny to dekarbonizacja wysoce energochłonnych działów gospodarki, w których elektryfikacja jest zbyt kosztowna lub niemożliwa. Ponadto w strategii uwzględniono możliwości przekwalifikowania kadry z sektorów zagrożonych redukcją, takich jak górnictwo węgla kamiennego i brunatnego, na potrzeby rozwoju gospodarki wodorowej. Według strategii największy potencjał wykorzystania wodoru w sektorze transportu występuje w transporcie miejskim oraz drogowym, głównie ciężkim i długodystansowym. Gospodarka wodorowa ułatwi osiągnięcie neutralności klimatycznej i pozwoli utrzymać konkurencyjność polskiej gospodarki. W planach jest stworzenie łańcucha wartości od budowy nowych mocy OZE, przez produkcję i transport wodoru, aż po jego dystrybucję i zastosowanie końcowe. Wspierany będzie wodór niskoemisyjny i odnawialny, a w dalszej perspektywie produkcja wodoru z wykorzystaniem energetyki jądrowej.

**Polska Strategia Wodorowa jest spójna z międzynarodowymi i krajowymi dokumentami strategicznymi.** Przede wszystkim jest zgodna z inicjatywami Unii Europejskiej, takimi jak strategia wodorowa UE i Europejski Zielony Ład. Dodatkowo odnosi się do międzynarodowych porozumień klimatycznych, w tym Porozumienia paryskiego, które zobowiązują Polskę do działań na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych. W kontekście krajowych strategii, Polska Strategia Wodorowa wpisuje się w ramy „Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020”. W szczególności wspiera cele związane z trwałym wzrostem gospodarczym opartym na wiedzy, innowacyjności i doskonałości organizacyjnej.

Kontekst międzynarodowy kładzie nacisk na dekarbonizację gospodarki oraz wykorzystanie niskoemisyjnego i w szczególności odnawialnego wodoru. **Polska strategia klasyfikuje wodór na podstawie poziomu emisyjności jego produkcji.** Wodór konwencjonalny jest określony jako emitujący powyżej 5,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub> przy wykorzystaniu gazu ziemnego i powyżej 10 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>, gdy źródłem energii pierwotnej jest węgiel. Jako alternatywę i przejściową metodę produkcji uznano wodór niskoemisyjny. Jego emisyjność nie może przekroczyć 5,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>. Ten rodzaj produkcji wykorzystuje zazwyczaj

paliwa kopalne z zastosowaniem technologii CCUS. Ostatnim rodzajem jest wodór odnawialny, wytwarzany głównie w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Jego emisyjność została zdefiniowana na mniej niż 1 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>.

Strategia zawiera sześć celów odnoszących się do trzech priorytetów zastosowania końcowego, m.in. energetyki, przemysłu i transportu. Ponadto cele obejmują produkcję i dystrybucję wodoru oraz stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego.

### **Cel 1. Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie**

W krótkim horyzoncie czasowym (do 2025 r.) ma zacząć działać instalacja P2G (Power to Gas) o mocy co najmniej 1 MW, aby wspierać pracę sieci dystrybucyjnej. Ponadto mają być prowadzone dalsze prace B+R w zakresie układów ko- i poligeneracyjnych ogniw paliwowych dla budynków. W kolejnych latach skala uruchamianych projektów będzie się zwiększać w tym obszarze. **Do 2030 r. ma być uruchomiony układ kogeneracji o mocy zainstalowanej 50 MW<sub>T</sub> i mniejszy o mocy 10-250 kW<sub>T</sub>. Dzięki temu wodór może wspierać proces dekarbonizacji miejskich sieci ciepłowniczych.** Dodatkowo, w trudno dostępnych miejscach, istnieje możliwość wykorzystania instalacji mikrogeneracyjnych do wytwarzania wodoru na potrzeby produkcji energii elektrycznej lub ciepłej.

### **Cel 2. Wykorzystania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie**

Zastosowanie wodoru w transporcie jest bardzo mocno akcentowane w Polskiej Strategii Wodorowej, w szczególności w transporcie miejskim. **Do 2025 r. ma rozpocząć się eksploatacja 100-250 autobusów wodorowych i planowane jest otwarcie co najmniej 32 stacji wodorowych.** Szacowane zapotrzebowanie na wodór w 2025 r. wyniesie 2933,5 t, w tym ok. 1764 t na potrzeby zasilania autobusów. W kolejnych latach – do 2030 r. – planowane jest oddanie do eksploatacji w sumie 800-1000 autobusów i dalszy rozwój infrastruktury tankowania wodoru. Z tego powodu zapotrzebowanie na wodór w perspektywie 2030 r. ma wynieść 22 510,7 t rocznie. Już w 2030 r. ma ruszyć proces zastępowania pociągów spalinowych przez wodorowe. Ponadto w dalszej perspektywie ma nastąpić rozwój wykorzystania wodoru w transporcie lotniczym, ciężkim kołowym, morskim, rzeczny i intermodalnym. Strategia nie wprowadza celów związanych z samochodami osobowymi, jednak wspomina o wykorzystaniu paliw syntetycznych opartych na wodorze. Ich produkcja miałaby ruszyć do 2030 r., byłyby stosowane do wsparcia dekarbonizacji transportu ciężkiego, morskiego i lotniczego.

### **Cel 3. Wsparcie dekarbonizacji przemysłu**

W strategii nie wyznaczono konkretnych celów dla przemysłu, ale wspomniano o utworzeniu osobnej strategii dla wdrażania wodoru w przemyśle energochłonnym. **Szacowana uniknięta emisja przy wykorzystaniu wodoru**

**w zależności od scenariusza wyniesie 1 850 340 t (scenariusz Polskiej Strategii Wodorowej) lub 3 775 525 t (scenariusz UE).** W celu realizacji dekarbonizacji gospodarki powstać mają doliny wodorowe oparte na regionalnym rynku wodoru. Do 2030 r. w Polsce ma powstać co najmniej pięć nowych dolin wodorowych, które mają na celu budowę łańcucha wartości dla gospodarki wodorowej od produkcji do zastosowań końcowych. Dodatkowo strategia zakłada włączenie powstałych inwestycji we wspólną infrastrukturę europejską.

#### **Cel 4. Produkcja wodoru w nowych instalacjach**

Najbardziej korzystnym odnawialnym źródłem energii do produkcji wodoru w Polsce według strategii będzie morska energetyka wiatrowa. Poza promowaniem odnawialnego wodoru strategia dopuszcza wsparcie dla wodoru produkowanego z paliw kopalnych wraz z technologią CCS/CCSU. Kluczowe w najbliższym czasie jest prowadzenie dalszej działalności badawczo-rozwojowej dla produkcji niskoemisyjnego wodoru. Jednym z celów do 2025 r. jest zainstalowanie co najmniej 50 MW łącznej mocy do produkcji wodoru ze źródeł niskoemisyjnych. Poza tym uruchomienie wytwarzania gazów syntetycznych i amoniaku z wodoru niskoemisyjnego. **W dalszej perspektywie ze strategii do 2030 r. wynika konieczność zainstalowania 2 GW mocy produkcji wodoru, w szczególności elektrolizerów do produkcji wodoru i jego pochodnych.**

#### **Cel 5. Sprawne i bezpieczne przesyłanie, dystrybucja i magazynowanie wodoru**

**W Polityce energetycznej Polski do 2040 r. w lutym 2021 r. przedstawiono cel osiągnięcia do 2030 r. zdolności transportu sieciami gazowymi mieszaniny gazów zawierającej ok. 10 proc. gazów innych niż ziemny, w tym wodor czy biometan.** Do zadań proponowanych w strategii jest przygotowanie studium wykonalności rurociągu wodorowego północ-południe, ponadto zbadanie możliwości przesyłania wodoru przez już istniejące gazociągi. W dalszej perspektywie do 2030 r. w strategii planowano dostosowanie wybranych odcinków sieci gazowej w celu *blendingu* wodoru z gazem ziemnym. Wraz z popularyzacją wykorzystania wodoru będzie konieczne zapewnienie możliwości jego transportu specjalnymi rurociągami. W późniejszych zadaniach wymieniono opracowanie lekkich zbiorników do dystrybucji wodoru. Dodatkowo, aby móc magazynować wodor na dużą skalę, proponowane jest opracowanie planów wykorzystania kawern solnych.

#### **Cel 6. Stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego**

Jednym z pierwszych zadań dla rządu jest stworzenie ram prawnych funkcjonowania wodoru jako paliwa alternatywnego. W strategii podzielono okres wprowadzenia zasad rynku wodoru na dwa etapy. Pierwszy z nich miał dać podstawowe zasady funkcjonowania rynku wodoru. W drugim etapie, w okresie 2022-2023 miał być przygotowany pakiet wodorowy implementujący prawo UE. Ponadto prawo wodorowe ma ustanowić szczegóły funkcjonowania rynku wodoru i system zachęt do produkcji wodoru niskoemisyjnego.

**Pierwsza weryfikacja realizacji wyznaczonych celów ma nastąpić w 2025 r. – w tym roku nastąpi też ewentualna aktualizacja strategii. Pierwszym zadaniem jest usunięcie barier prawnych na rynku wodoru.** W strategii przeanalizowano zmiany związane z wodorem, które trzeba wprowadzić w polskiej legislacji. Ponadto zaproponowano, aby ustawy dotyczące wodoru były nowelizowane w ramach jednego pakietu za pomocą ustawy, tak aby uniknąć osobnego procedowania każdego związanego aktu prawnego. Oprócz działań legislacyjnych strategia zakłada zawarcie porozumienia na rzecz gospodarki wodorowej. Porozumienie między podmiotami publicznymi a przedstawicielami sektora wodorowego jest określone jako kluczowy instrument wykonawczy Polskiej Strategii Wodorowej. Pakiet działań uzgodniony w porozumieniu branżowym ma zapewnić stabilność otoczenia i pobudzenie inwestycji.

**Fundamentem dla strategii jest budowa Ekosystemu Innowacji Dolin Wodorowych.** Każda dolina ma łączyć jak najwięcej ogniw łańcucha wartości gospodarki wodorowej w określonej lokalizacji. Doliny wodorowe powinny dążyć do osiągnięcia samowystarczalności systemu gospodarki wodorowej. Jednak gospodarka wodorowa wymaga wykształcenia wykwalifikowanych kadr, które mogłyby objąć stanowiska w tym dynamicznie rozwijającym się sektorze. Budowanie kompetencji na potrzeby gospodarki wodorowej ma odbywać się poprzez współpracę z uczelniami wyższymi. Ponadto zostaną uruchomione programy wsparcia w celu przekwalifikowania pracowników z obszarów górniczych. Poza tym rząd chce przeprowadzić kampanie edukacyjne przybliżające społeczeństwu wiedzę dotyczącą wodoru.

**Łącznie do 2030 r. uruchomienie 1000 wodorowych autobusów będzie wymagać inwestycji o wartości ok. 1,8 mld PLN, a zainstalowanie 2 GW mocy instalacji niskoemisyjnych produkujących wodór – ponad 9 mld PLN.** Przewidywane nakłady inwestycyjne do 2025 r. wynoszą ok. 500 mln PLN na 250 autobusów i ok. 250 mln PLN na stacje tankowania. Zainstalowanie do 2025 r. 50 MW mocy będzie kosztować ok. 225 mln PLN. Oprócz nakładów inwestycyjnych, przybliżone koszty produkcji wodoru przy użyciu morskiej energetyki wiatrowej oszacowano na poziomie 27 PLN/kgH<sub>2</sub>. Koszt produkcji wodoru zależy głównie od ceny energii elektrycznej, która stanowi 70 proc. kosztów produkcji wodoru. W celu osiągnięcia ceny 3 EUR/ kgH<sub>2</sub> cena energii elektrycznej musi być poniżej 200 PLN/MWh. Średni koszt utrzymania autobusu zasilanego wodorem to ok. 443 PLN/100 km. Ponad połowa kosztów funkcjonowania takiego autobusu to jego paliwo, do kolejnych wydatków należą koszty konserwacji, ubezpieczenia, wymiany części czy utrzymanie stacji tankowania wodoru. Ponadto w strategii oszacowano koszty dostosowania obecnych gazociągów do przesyłu wodoru na ok. 1,8 mln PLN/km i na 1,57 mln PLN/km wymiany systemów sprężania. Koszt wybudowania nowego rurociągu jest znacznie wyższy i wymaga inwestycji w wysokości ok. 9,4 mln PLN/km plus koszty systemu sprężania.

W strategii możemy znaleźć zestawienie możliwych źródeł finansowania przewidzianych inwestycji. Za finansowanie strategii ma odpowiadać m.in. NFOŚiGW, a za finansowanie prac badawczych NCBR. Oprócz źródeł krajowych finansowanie ma się odbywać ze środków unijnych, m.in. Krajowego Planu Odbudowy, konkursów IPCEI czy Mechanizmu sprawiedliwej transformacji. Po aktualizacji KPEIK w 2023 r. mają rozpocząć się prace nad aktualizacją strategii i oceną wykonania.

**Tabela 3. Cele wyznaczone w Polskiej Strategii Wodorowej**

Nazwa wskaźnika	Jednostka miary	Wartość bazowa (2020 r.)	Wartość docelowa (2030 r.)
Zainstalowana moc instalacji produkcji niskoemisyjnego wodoru	MW	0	2000
Liczba dolin wodorowych	szt.	0	5
Liczba autobusów wodorowych będących w użyciu	szt.	0	1000
Liczba stacji wodoru	szt.	0	>32
Zawarcie porozumienia na rzecz budowy gospodarki wodorowej	szt.	0	1
Stworzenie Ekosystemu Innowacji Dolin Wodorowych	szt.	0	1
Utworzenie Centrum Technologii Wodorowych	szt.	0	1

Źródło: opracowanie własne PIE na podstawie Polskiej Strategii Wodorowej.

# Rekomendacje

**W ostatnich pięciu latach sektor energetyczny przeszedł znaczącą transformację, a dokumenty strategiczne związane z wodorem stały się kluczowym narzędziem kierowania przyszłością energetyki.** W 2021 r. Polska przyjęła krajową Polską Strategię Wodorową. Jednakże, ze względu na zmieniający się kontekst geopolityczny, w tym wybuch wojny w Ukrainie, gwałtowny wzrost cen gazu, kryzys energetyczny w Unii Europejskiej, przyjęcie planu REPowerEU, podwyższenie celów klimatycznych UE i rozwój technologiczny, wiele założeń i celów strategii Polski wymaga aktualizacji.

Na podstawie analizy przedstawionej w tym opracowaniu, Polski Instytut Ekonomiczny przygotował zestaw rekomendacji dotyczących propozycji aktualizacji Polskiej Strategii Wodorowej. Podzielono go na dwie grupy: rekomendacje strategiczne wyznaczające ogólny kierunek zmian oraz rekomendacje operacyjne, które odnoszą się do zmian techniczno-organizacyjnych.

## Rekomendacje strategiczne:

- **Wyznaczenie celu produkcji wodoru zielonego w Polsce i określenie zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną do procesu elektrolizy w perspektywie 2030 r. i 2040 r.** Jednym z priorytetów powinna być aktualizacja dotychczasowych rozwiązań w kontekście zmian globalnych uwarunkowań w latach 2020-2023. Przeprowadzenie analizy ilościowej dotyczącej zapotrzebowania na nowe moce wytwórcze wodoru ułatwi decydom i prywatnym inwestorom planowanie inwestycji w sektorze elektroenergetycznym, które są konieczne dla rozwoju gospodarki wodorowej.
- **Wsparcie wdrożeniowych badań naukowych i działań o charakterze rozwojowym dla wykorzystania wodoru w nowych obszarach.** Wdrożenie nowego instrumentu wsparcia, o podobnym charakterze do taryfy gwarantowanej dla odnawialnych źródeł energii, może znacząco przyspieszyć rozwój gospodarki wodorowej. Strategia wodorowa powinna skoncentrować się na działaniach skutkujących przewidywalnym wzrostem popytu na wodór odnawialny, umożliwiając mu docelowo konkurowanie cenowe z wodorem szarym. Ponadto inwestycje w badania naukowe w dziedzinie wodoru będą kluczowe dla rozwoju tej branży.
- **Zwiększenie inwestycji w badania i rozwój.** Aby osiągnąć sukces w dziedzinie wodoru, konieczne jest znaczące zwiększenie inwestycji w badania i rozwój związane z tą technologią. W 2022 r. zaledwie 3,1 proc. publicznych wydatków na cele badawcze w Polsce dotyczyło energetyki, podczas gdy w innych krajach członkowskich MAE ten odsetek wynosił ponad 12 proc. Prace badaczy w tym obszarze powinny zostać zintegrowane w intensywnie finansowanym ośrodku badawczym.

- **Istniejące instytuty naukowe, jednostki badawcze, sektor biznesowy i firmy powinny aktywnie współpracować oraz wymieniać informacje o projektach.** Współpraca ta przyspieszy rozwój gospodarki wodorowej, zwiększając efektywność badań i projektów B+R. Dodatkowo aktywizacja firm w zakresie uczestnictwa w projektach badawczo-rozwojowych przyczyni się do zwiększenia inwestycji w sektorze, co w konsekwencji wesprze rozwój gospodarki wodorowej w Polsce.

## Rekomendacje operacyjne:

- **Przemysł jest priorytetem gospodarki wodorowej.** W większości analizowanych dokumentów strategicznych wykorzystanie wodoru w sektorze przemysłowym traktuje się priorytetowo. Polska to obecnie jeden z największych producentów szarego wodoru w Europie. Wodór ten jest produkowany w dużych zakładach przemysłowych, tj. chemicznych, rafineryjnych, spożywczych, metalurgicznych i tam lokalnie wykorzystywany. Dla rozwoju niskoemisyjnej gospodarki wodorowej przemysł jest potencjalnie dużym biorcą ze względu na istniejące zapotrzebowanie na wodór.
- **Inwestycje w rozwój niskoemisyjnego pozyskiwania wodoru.** Zastąpienie wodoru szarego zielonym pozwoli na obniżenie emisji w sektorze przemysłu i przeprowadzenie procesu dekarbonizacji z wykorzystaniem istniejących procesów przemysłowych.
- **Analiza potencjału i tworzenie dolin wodorowych.** Kluczową rekomendacją jest przeprowadzenie kompleksowej analizy potencjału produkcji i wykorzystania wodoru w Polsce. Na podstawie wyników tej analizy można zidentyfikować optymalne lokalizacje dla przyszłych dolin wodorowych, co pozwoli na skoncentrowanie kluczowych elementów łańcucha dostaw i obniżenie kosztów transportu wodoru. Ponadto konieczne jest dokładne przeanalizowanie potrzeb infrastrukturalnych, potencjału magazynowania wodoru oraz możliwości zmiany przeznaczenia istniejącej infrastruktury gazowej na potrzeby przesyłu wodoru.

# Bibliografia

- APEC (2022), *Low-Carbon Hydrogen International Standard – Post-Workshop Report*, Asia-Pacific Economic Cooperation.
- COAG (2019), *Australia's National Hydrogen Strategy*, Council of Australian Governments, Canberra.
- IEA (2023), *Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach*, International Energy Agency, [https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap\\_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/9a698da4-4002-4e53-8ef3-631d8971bf84/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf) [dostęp: 17.10.2023].
- IRENA (2022), *Green hydrogen for industry: A guide to policy making*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA\\_Green\\_Hydrogen\\_Industry\\_2022\\_.pdf?rev=720f138dbfc44e30a2224b476b-6dfb77](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_.pdf?rev=720f138dbfc44e30a2224b476b-6dfb77) [dostęp: 17.10.2023].
- Kakoulaki, G. i in. (2021), *Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables*, “Energy Conversion and Management”, Vol. 228.
- KE (2020), *Komunikat Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, Komisja Europejska, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Bruksela.
- KE (2021a), *Gas and hydrogen markets directive*, Bruksela.
- KE (2022a), *Komunikat REPowerEU*, Komisja Europejska, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions REPowerEU plan, Bruksela.
- KE (2023a), *Komunikat Plan przemysłowy Zielonego Ładu*, Komisja Europejska, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions a Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age, Bruksela.
- KE (2023b), *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*, Komisja Europejska, Bruksela.

- KE (2023c), Delegated Act establishing a minimum threshold for greenhouse gas emissions savings of recycled carbon fuels and by specifying a methodology for assessing greenhouse gas emissions savings from renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin and from recycled carbon fuels, Komisja Europejska, Bruksela.
- KE (2023d), Delegated Act establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin, Komisja Europejska, Bruksela.
- KE (2023e), Revision of the Directive on Deployment of Alternative Fuels Infrastructure, Komisja Europejska, Bruksela.
- MKiŚ (2021), *Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r.*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa.
- NRDC (2022), *Medium and Long-term Plan for Hydrogen Energy Industry Development (2021-2035)*, National Development and Reform Commission.
- Przybyło, P. (2023), *Europe's Hydrogen Strategy Failure. Negligible chances for extensive production of cost-effective green hydrogen in Europe*, Pulaski Policy Paper, No. 16, Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego, Warszawa.
- Republic of Korea (2019), *Hydrogen Economy Roadmap of Korea*, [https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a\\_551e67dca75340569e68e37eea18f28e.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_551e67dca75340569e68e37eea18f28e.pdf) [dostęp: 13.10.2023].
- Song, S., Lin, H., Sherman, P. i in. (2021), *Production of hydrogen from offshore wind in China and cost-competitive supply to Japan*, Nat Commun, No. 12 (6953).
- Tchorek, G. i in. (2023), *Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce 2023 r.*, <https://igg.pl/app/uploads/2023/08/Lancuch-wartosci-gospodarki-wodorowej-w-Polsce-2023-r.pdf> [dostęp: 13.10.2023].
- U.S. Department of Energy (2023), *U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap*, <https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf?Status=Master> [dostęp: 17.10.2023].
- WEF (2023), *Green Hydrogen in China: A Roadmap for Progress*, World Economic Forum, Davos.
- (www1) <https://pspa.com.pl/2023/informacja/licznik-elektromobilnosci-miasta-napedzaja-rozwoj-infrastruktury-ladowania/> [dostęp: 13.10.2023].
- (www2) <https://media.bgk.pl/238263-bgk-wartosc-inwestycji-najwiekszych-samorzadow-w-autobusy-elektryczne-i-wodorowe-to-obecnie-blisko-15-mld-zl> [dostęp: 17.10.2023].
- (www3) <https://pgeenergetykakolejowa.pl/projekt/paliwo-przyszlosci> [dostęp: 18.10.2023].
- (www4) <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/pkp-energetyka-z-przetargiem-wodorowym-106533.html> [dostęp: 18.10.2023].

- (www5) <https://pgeenergetykakolejowa.pl/aktualnosc/pge-chce-rozwijac-technologie-wodorowa-w-sektorze-kolejowym> [dostęp: 18.10.2023].
- (www6) <https://pesa.pl/produkty/lokomotywy/sm42-6dn-hydrogen/> [dostęp: 18.10.2023].
- (www7) <https://h2poland.eu/pl/kategorie/zastosowanie/cieplownictwo/wodor-w-cieplownictwie/> [dostęp: 18.10.2023].
- (www8) <https://h2poland.eu/pl/kategorie/zastosowanie/cieplownictwo/wodor-ogrzeje-mieszkania-na-slasku/> [dostęp: 18.10.2023].
- (www9) <https://www.gaz-system.pl/pl/dla-mediow/komunikaty-prasowe/2023/marzec/03-03-2023-gaz-system-zglosil-projekty-wodorowe-do-nadania-statusu-pci.html> [dostęp: 18.10.2023].
- (www10) [https://www.orken.pl/content/dam/internet/orken/pl/en/about-company/media/press-releases/2021/obrazy/Orken\\_prezentacja\\_Hydrogen\\_final.pdf.coredownload.pdf](https://www.orken.pl/content/dam/internet/orken/pl/en/about-company/media/press-releases/2021/obrazy/Orken_prezentacja_Hydrogen_final.pdf.coredownload.pdf) [dostęp: 18.10.2023].
- (www11) <https://wysokienapiecie.pl/76545-zielony-wodor-ruszy-w-polsce/> [dostęp: 18.10.2023].
- (www12) <https://www.gov.pl/web/klimat/projekt-lotos-green-h2-zatwierdzony-przez-komisje-europejska> [dostęp: 18.10.2023].
- (www13) <https://nuclear.pl/wiadomosci/news,20110502,0,0.html> [dostęp: 18.10.2023].
- (www14) <https://exionhydrogen.com/about-us/> [dostęp: 18.10.2023].
- (www15) <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-i-japonia-wzmocnily-wspolprace-w-dziedzinie-wodoru> [dostęp: 18.10.2023].
- (www16) <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C80416%2Cwrochna-reaktor-htr-nad-ktorym-chcemy-pracowac-z-japonia-do-produkcji-ciepla> [dostęp: 18.10.2023].
- (www17) <https://www.gov.pl/web/klimat/porozumienie-sektorowe-gospodarka-wodorowa> [dostęp: 11.10.2023].
- (www18) <https://arp.pl/pl/jak-dzialamy/doliny-wodorowe/> [dostęp: 11.10.2023].
- (www19) <https://h2wielkopolska.pl/o-nas/> [dostęp: 11.10.2023].
- (www20) <https://h2poland.eu/pl/kategorie/doliny-wodorowe/mazowiecka-dolina-wodorowa/powstanie-mazowiecka-dolina-wodorowa/> [dostęp: 11.10.2023].
- (www21) <https://hydrogeneurope.eu/in-a-nutshell/> [dostęp: 12.10.2023].
- (www22) <https://www.osti.gov/servlets/purl/1393842> [dostęp: 20.10.2023].
- (www23) <https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/23003-electrolyzer-installations-united-states.pdf?Status=Master> [dostęp: 11.10.2023].
- (www24) <https://research.csiro.au/hyresource/policy/australia/australia> [dostęp: 15.10.2023].
- (www25) [http://english.www.gov.cn/news/topnews/202108/17/content\\_WS611bbd06c6d0df57f98de93f.html](http://english.www.gov.cn/news/topnews/202108/17/content_WS611bbd06c6d0df57f98de93f.html) [dostęp: 18.11.2023].
- (www26) <https://climatecooperation.cn/climate/china-released-the-first-medium-and-long-term-hydrogen-roadmap/> [dostęp: 25.10.2023].
- (www27) <https://www.esginvestor.net/japans-big-bet-on-hydrogen/> [dostęp: 12.10.2023].

- (www28) <https://www.hydrogeninsight.com/policy/japan-targets-more-than-100bn-of-hydrogen-investment-in-long-awaited-national-strategy-update/2-1-1462416> [dostęp: 27.10.2023].
- (www29) [https://euc-word-edit.officeapps.live.com/we/wordeditorframe.aspx?ui=pl%2DPL&rs=pl%2DPL&wopisrc=https%3A%2F%2Fpiekono-miczny.sharepoint.com%2F\\_vti\\_bin%2Fwopi.ashx%2Ffiles%2F55059d-c1db6147b783000b83198b41fc&wdenableroaming=1&mssc=1&hid=E28DE5A0-7037-7000-5C10-1E3A5E54B196&wdorigin=ItemsView&wdhostclcktime=1697698106185&jsapi=1&jsapiver=v1&newsession=1&corrid=d25836e3-c3e5-4a16-8ee3-5a46b62f0e31&usid=d25836e3-c3e5-4a16-8ee3-5a46b62f0e31&sftc=1&cac=1&mtf=1&sfp=1&instantedit=1&wopicomplete=1&wdredirectionreason=Unified\\_SingleFlush&rct=Normal&ctp=LeastProtected#\\_ftn5](https://euc-word-edit.officeapps.live.com/we/wordeditorframe.aspx?ui=pl%2DPL&rs=pl%2DPL&wopisrc=https%3A%2F%2Fpiekono-miczny.sharepoint.com%2F_vti_bin%2Fwopi.ashx%2Ffiles%2F55059d-c1db6147b783000b83198b41fc&wdenableroaming=1&mssc=1&hid=E28DE5A0-7037-7000-5C10-1E3A5E54B196&wdorigin=ItemsView&wdhostclcktime=1697698106185&jsapi=1&jsapiver=v1&newsession=1&corrid=d25836e3-c3e5-4a16-8ee3-5a46b62f0e31&usid=d25836e3-c3e5-4a16-8ee3-5a46b62f0e31&sftc=1&cac=1&mtf=1&sfp=1&instantedit=1&wopicomplete=1&wdredirectionreason=Unified_SingleFlush&rct=Normal&ctp=LeastProtected#_ftn5) [dostęp: 12.10.2023].

# Spis map, rysunków, tabel i wykresów

## SPIS MAP

Mapa 1. Utworzone doliny wodorowe w Polsce . . . . .	16
--	----

## SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Harmonogram publikacji wybranych strategii wodorowych. . . . .	17
---	----

## SPIS TABEL

Tabela 1. Przegląd metod pozyskiwania wodoru . . . . .	9
Tabela 2. Przegląd wybranych elementów i celów ze strategii wodorowych wybranych państw. . . . .	27
Tabela 3. Cele wyznaczone w Polskiej Strategii Wodorowej . . . . .	33

## SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Zapotrzebowanie na wodór wysokoemisyjny w latach 2022-2050 w scenariuszu zerowych emisji do 2050 r. (w Mt) . . . . .	8
Wykres 2. Zapotrzebowanie na wodór niskoemisyjny w latach 2022-2050 w scenariuszu zerowych emisji do 2050 r. (w Mt) . . . . .	8
Wykres 3. Działające obecnie projekty w dziedzinie niskoemisyjnego wodoru i jego pochodnych w podziale na technologię produkcji (w proc.) . . . . .	10
Wykres 4. Publiczne wydatki na badania i rozwój technologii wodorowych i ogniw paliwowych w latach 2002-2022 (w mld PLN) . . . . .	11
Wykres 5. Popyt na wodór w Polsce w 2022 r. w podziale na zastosowanie końcowe (w tys. t rocznie) . . . . .	12
Wykres 6. Inwestycje wodorowe w Polsce w podziale na rodzaj działalności podmiotu (liczba podmiotów). . . . .	13

# Polski Instytut Ekonomiczny

Polski Instytut Ekonomiczny to publiczny *think tank* ekonomiczny z historią sięgającą 1928 roku. Jego obszary badawcze to przede wszystkim makroekonomia, energetyka i klimat, handel zagraniczny, foresight gospodarczy, gospodarka cyfrowa i ekonomia behawioralna. Instytut przygotowuje raporty, analizy i rekomendacje dotyczące kluczowych obszarów gospodarki oraz życia społecznego w Polsce, z uwzględnieniem sytuacji międzynarodowej.